



A Revista do Gran Turismo

"PlayStation" é uma marca comercial registrada da Sony Computer Entertainment Inc.



NISSAN

5

Beyond the Apex

PlayStation.

NISSAN



WWW.SILVERS



STONE.CO.UK

GT ACADEMY
2008-2013

GT ACADEMY
2008-2013

Gran Turismo: ele desperta, inspira
e estimula o talento potencial para pilotar.



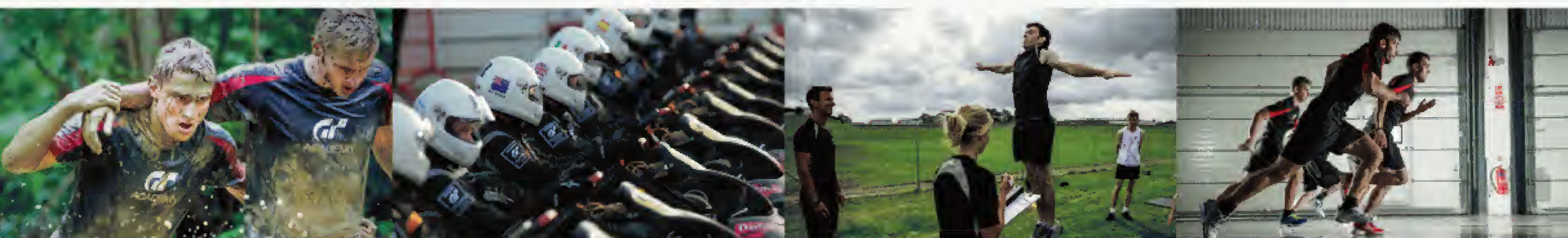


Em um dos solos mais sagrados do automobilismo,



GT ACADEMY
2008-2013

a determinação e a capacidade de pilotar de um seleto grupo são testadas até o limite.



Escolha seu próprio sistema de propulsão e a configuração de potência.

Participe de 1.000 eventos de prova de tempo.

Transcenda a experiência do mundo real com o simulador de corrida definitivo.

E vá mais além.

A GT Academy foi criada em 2008. Sua missão: ajudar aqueles que aprimoraram suas habilidades no Gran Turismo a realizar seus sonhos de se tornar um piloto de verdade.



Nos anos seguintes, o "projeto" cresceu e se expandiu significativamente. Em 2012, um total de 1,4 milhão de jogadores da Europa, dos Estados Unidos, da Rússia, da África do Sul e do Oriente Médio participaram das fases classificatórias online.

Então, como você pode ver, não há motivo para desistir dos seus sonhos de se tornar um piloto. Algum dia, aquele piloto no topo do pódio de uma pista de corrida famosa, recebendo os aplausos de milhares de fãs, pode ser você.



O verdadeiro caráter de uma pessoa
é completamente exposto.





GT ACADEMY
2008-2013

GT ACADEMY
2008-2013

Esse ponto marca a linha de largada, onde começa a dura estrada para a realização de um sonho.





Conteúdo

| | |
|-------|--|
| 0 0 2 | GT Academy 2008-2013 |
| 0 1 7 | Capítulo 1: Engenharia automotiva |
| 0 1 8 | Prefácio |
| 0 2 0 | Parte 1: Força, energia e vibração |
| 0 3 6 | Parte 2: Desempenho do veículo |
| 0 5 0 | Parte 3: O motor eficiente |
| 0 6 6 | Parte 4: Aerodinâmica |
| 0 7 8 | Parte 5: Fluidodinâmica computacional |
| 0 8 8 | Índice de palavras-chave |
| 0 8 9 | Capítulo 2: Análise: mecanismo |
| 0 9 0 | Embalagem: Especificações básicas |
| 0 9 4 | Motor: o coração do automóvel |
| 1 0 4 | Transmissão: transformando potência em velocidade |
| 1 0 8 | Carroceria: a estrutura que comporta todo o resto |
| 1 1 0 | Freios: trocadores de calor que reduzem a velocidade |
| 1 1 4 | Suspensão: amortecedores que controlam o movimento da estrutura |
| 1 2 0 | Pneus: a ligação entre o carro e a estrada |
| 1 2 2 | Rodas: rodas de alumínio |
| 1 2 4 | Aerodinâmica: o efeito do ar na carroceria |
| 1 2 6 | Índice de palavras-chave |
| 1 2 7 | Capítulo 3: Análise: ajustes e configurações |
| 1 2 8 | Motor: melhorando o desempenho do motor |
| 1 4 0 | Transmissão: ajuste da transmissão |
| 1 4 6 | Carroceria: modelando a carroceria |
| 1 4 8 | Freios: melhorando o poder de parada |
| 1 5 0 | Suspensão: melhorando a suspensão |
| 1 5 2 | Pneus: atualizando para pneus de alto desempenho |
| 1 5 4 | Aerodinâmica: melhorando a aerodinâmica |
| 1 5 6 | Características: alteração das configurações de acordo com as características do carro |
| 1 5 8 | Configurações: configurações básicas peça a peça |
| 1 6 6 | Situações: configurações para situações específicas |
| 1 7 2 |] ————— |
| 1 9 4 | Índice de palavras-chave |
| 1 7 3 | Capítulo 4: Referência de circuitos |
| 1 9 5 | Capítulo 5: Carros de colecionador × 30 |



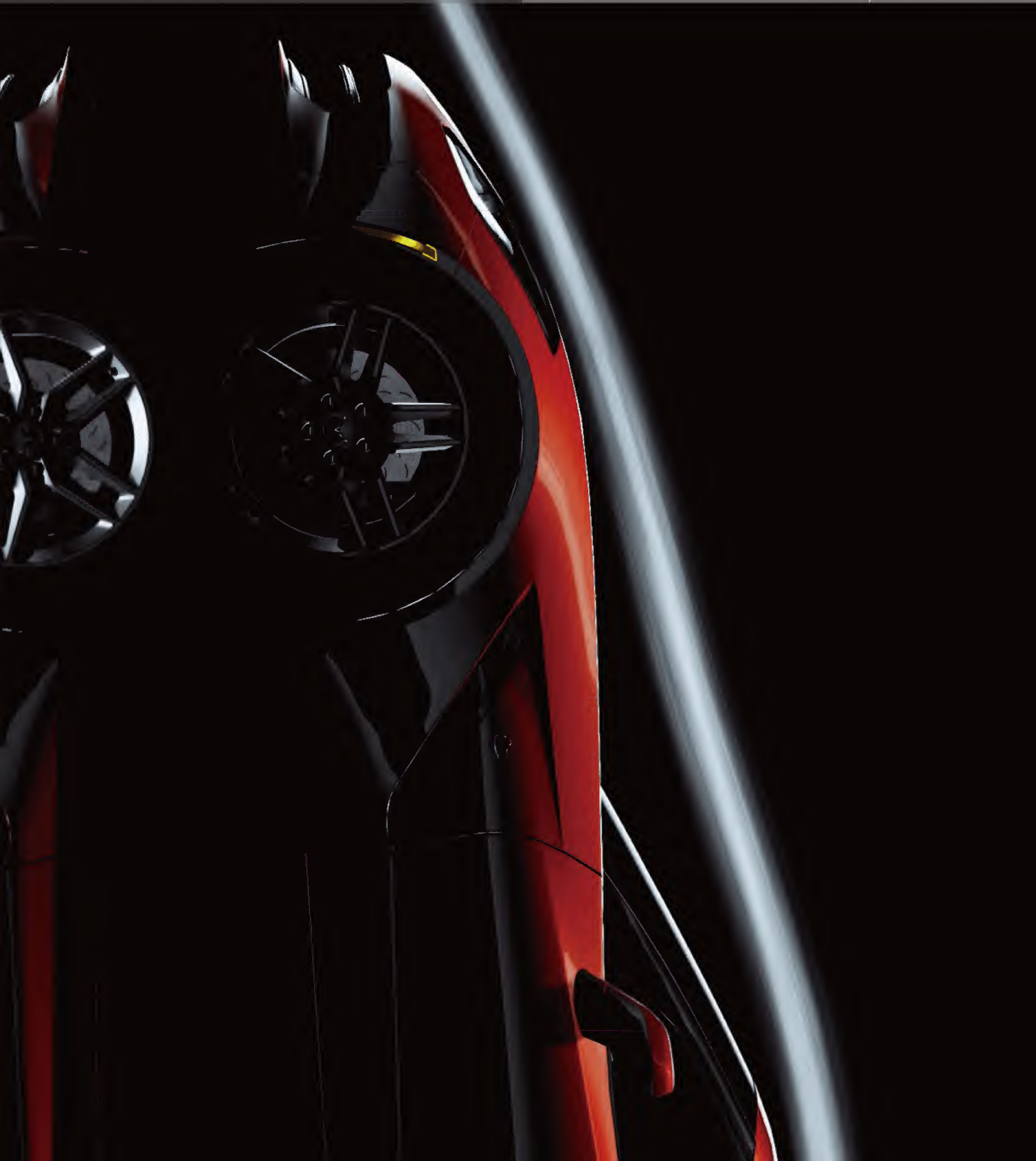
A Revista do Gran Turismo
Beyond the Apex



Engenharia Automotiva

1

A Revista do Gran Turismo
Beyond the Apex



Engenharia

Existem várias publicações sobre tecnologia automotiva, desde manuais profissionais até revistas de carros voltadas para o público em geral. No entanto, há uma grande diferença entre os engenheiros automotivos profissionais e o público em geral no que diz respeito à compreensão da complexidade dos carros e à forma como eles funcionam.

Neste livro, nosso objetivo é diminuir essa distância, compartilhando alguns dos conhecimentos básicos em que se baseia o trabalho de engenheiros automotivos profissionais. Além disso, compartilharemos algumas histórias que até mesmo as pessoas com conhecimento da engenharia profissional deverão aproveitar. Esperamos que você dedique um pouco de tempo para ler estas seções e saia com uma melhor compreensão da engenharia automotiva e, assim, passe a apreciar o mundo dos carros de alto desempenho.

O capítulo um descreverá a mecânica básica e apresentará conceitos de força, momento (que daqui em diante chamaremos de torque) e energia, seguido por uma discussão sobre a teoria da vibração. Força, torque e energia são elementos básicos da engenharia, e a teoria da vibração, explicada no capítulo dois, é a base da cinética veicular e do ajuste de suspensão.

O capítulo dois abrange a cinética veicular e o ajuste do sistema de suspensão. Esperamos que este capítulo mostre como os profissionais entendem o conceito do movimento da suspensão e como ele afeta o veículo. Em especial, você aprenderá sobre os fundamentos dos testes de direção veicular, e como a suspensão pode ser analisada por um dispositivo de sete colunas.

Pre

fácio

O capítulo três apresentará os fundamentos da termodinâmica e da mecânica estatística que fazem parte do motor do automóvel. Que tipo de motor pode alcançar a eficiência teórica? Por que a perda de energia ocorre em um motor real, impedindo a eficiência teórica? Exploraremos os motivos naturais pelos quais a perda de energia ocorre por meio de fenômenos físicos.

O capítulo quatro explicará a aerodinâmica. O teorema de Bernoulli, que mostra a relação entre a pressão e a velocidade, geralmente é usado para descrever a força descendente de um carro de corrida e a elevação de um avião. Não muito conhecido fora do campo da dinâmica de fluidos, o teorema de Bernoulli é somente um ponto de entrada para o complicado mundo da aerodinâmica. Daremos um passo a mais aqui e exploraremos o conceito da aerodinâmica teórica.

O capítulo cinco explicará a fluidodinâmica computacional (que daqui em diante chamaremos de CFD). A CFD é uma parte indispensável do desenvolvimento automotivo, sendo conhecida entre os fãs de esportes automotivos como uma das ferramentas mais importantes no desenvolvimento de carros de corrida. O conhecimento prático de como algo é construído com o uso da CFD limita-se somente a um pequeno número de especialistas. Vamos apresentar um breve panorama dos conceitos da teoria de CFD.

As teorias da engenharia apresentadas aqui são conhecimento básico para engenheiros automotivos, mas são relativamente difíceis para o observador não iniciado. Absorver todas essas informações do início ao fim pode ser desafiador. Neste caso, fique à vontade para ler as partes que lhe parecem interessantes. Esperamos que seja uma oportunidade para você conhecer um vasto mundo que está, em grande parte, oculto do conhecimento público, reservado a alguns poucos, conhecidos pelo mundo como engenheiros profissionais.

Força, energia e vibração

CAPÍTULO 1 Engenharia automotiva

1 Os conceitos de força e torque

1 ► Vamos ver as definições e as diferenças entre os dois

Várias forças, inclusive o torque, trabalham sempre que um carro está em movimento. Entender isso é o primeiro passo para entender os carros.

A definição de força

Os pneus, a suspensão e o motor geram força quando um veículo se movimenta. Essas forças são geradas de diferentes maneiras e parecem produzir vários tipos de potência. Porém, essas forças podem ser calculadas utilizando-se a mesma fórmula, conhecida como equação de movimento: $F = ma$ (força = massa x aceleração). Não há diferenças essenciais.

A equação de movimento mostra que a força deriva da aceleração de uma massa, o que significa que a força é um efeito que altera a velocidade e a direção do movimento de um objeto. E vice-versa, se a velocidade ou a direção de uma massa forem alteradas, sempre haverá alguma forma de força envolvida.

Por exemplo, a força de atrito gerada entre a superfície da estrada e os pneus altera a velocidade e a direção do movimento de um carro (uma massa), sendo que a força de amortecimento de um amortecedor tem o efeito de reduzir a velocidade da vibração do carro e dos pneus.

Diagrama 1-1-1 Embora as várias formas de força que agem sobre um carro pareçam diferentes, elas são essencialmente as mesmas de um ponto de vista da física

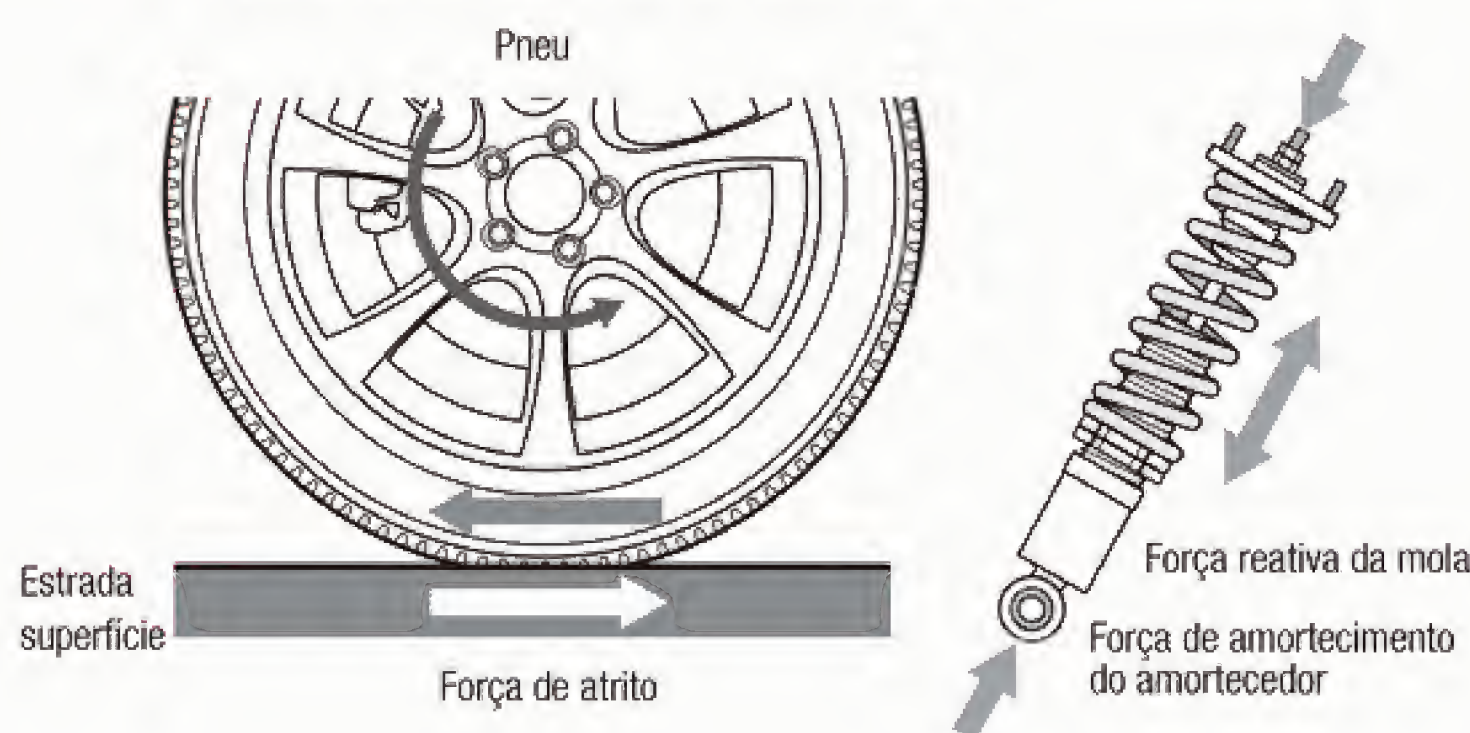
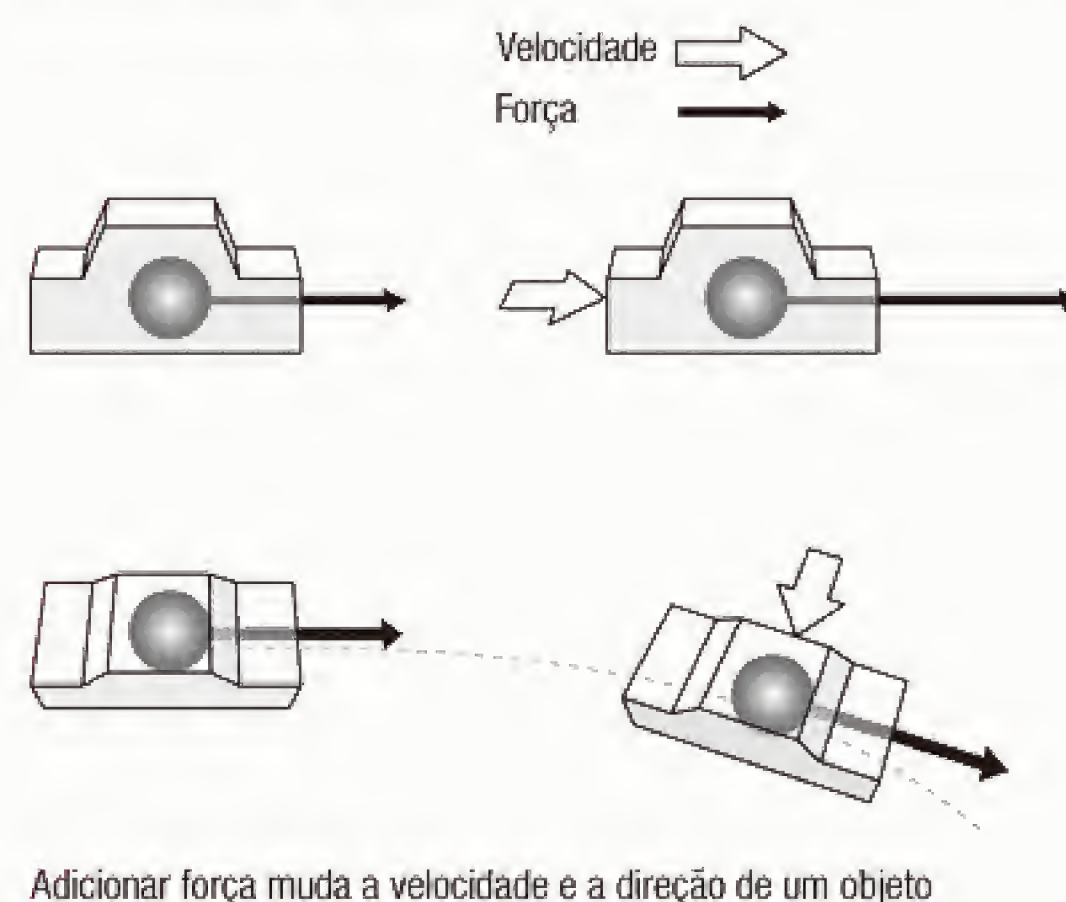


Diagrama 1-1-2 A força é um efeito que muda a velocidade e a direção do movimento de um objeto



As várias forças que um carro produz podem ser calculadas pela equação:

$$F = ma \text{ (força = massa x aceleração)}$$

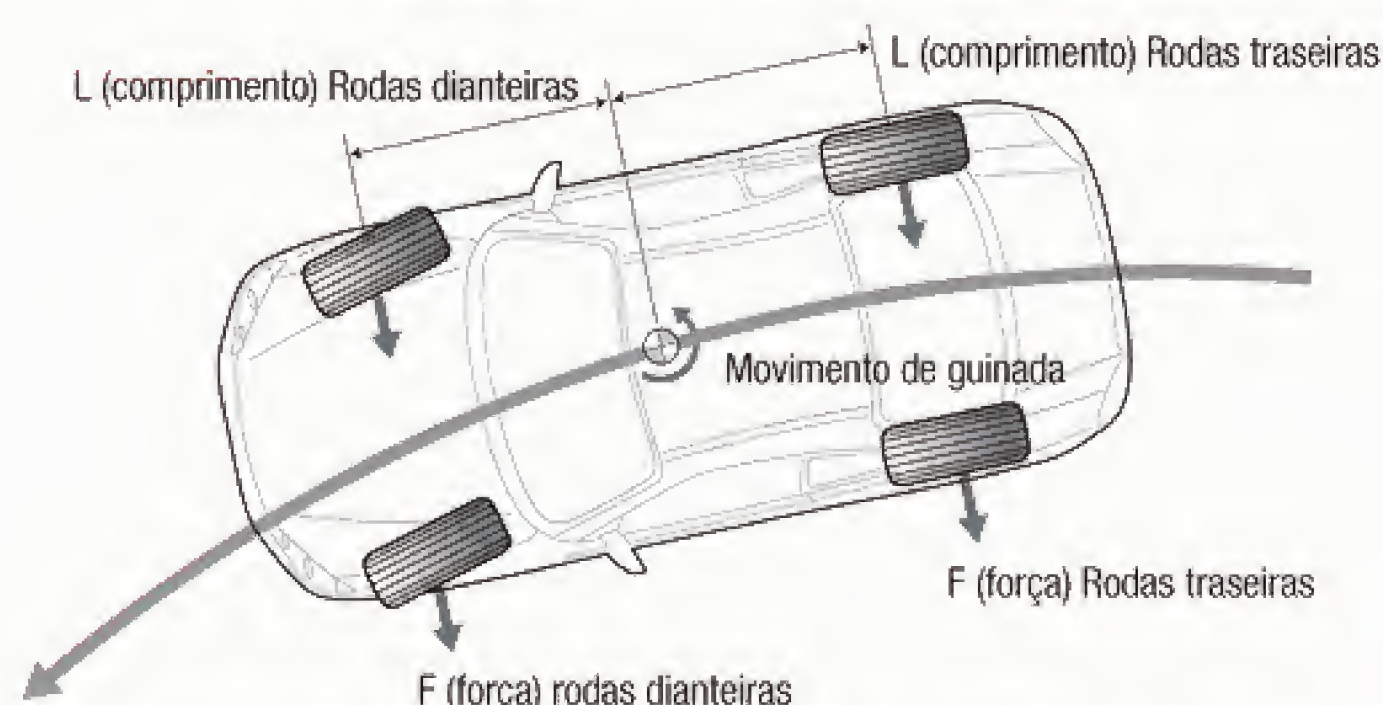
A força é um fenômeno que afeta a velocidade de uma massa.

■ A definição de torque

Quando você vira o volante, um carro muda de direção porque o pneu produz uma força em uma direção perpendicular à linha de deslocamento. O movimento rotacional de um carro causado por essa força é chamado de guinada. Da mesma forma, o efeito no qual uma força causa o movimento rotacional de um objeto é chamado de torque. A quantidade de torque depende da quantidade de força aplicada multiplicada pela distância do eixo de rotação. O que pode ser representado matematicamente por $M = L \times F$ (torque = distância do eixo rotacional x força).

Consideremos o torque real que age sobre um carro fazendo uma curva. Se o eixo rotacional está no centro de gravidade do veículo que faz a curva, o torque que as rodas

Diagrama 1-1-3 A relação entre o torque aplicado ao veículo pelas rodas dianteiras e traseiras e o movimento rotacional. Um carro começa a fazer a curva quando o torque das rodas dianteiras é maior que o das rodas traseiras



$L \text{ rodas dianteiras} \times F \text{ rodas dianteiras} > L \text{ rodas traseiras} \times F \text{ rodas traseiras}$: O ângulo de guinada do veículo aumenta (curva para dentro)

$L \text{ rodas dianteiras} \times F \text{ rodas dianteiras} < L \text{ rodas traseiras} \times F \text{ rodas traseiras}$: O ângulo de guinada do veículo diminui (curva para fora)

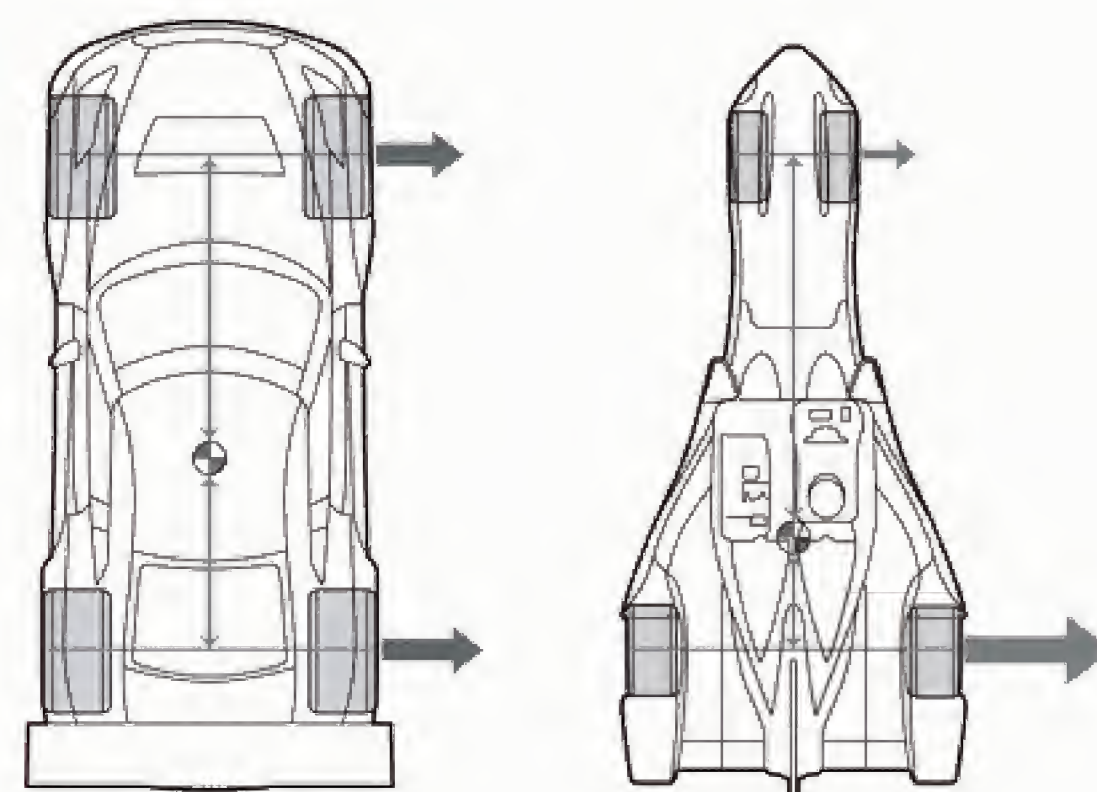
O torque é a força que causa o movimento rotacional de um objeto.

$M = L \times F$ (torque = distância do eixo rotacional x força)

dianteiras produzem é determinado por [a distância das rodas dianteiras do centro de gravidade] x [a força lateral produzida pelas rodas dianteiras]. É claro, durante a curva, as rodas traseiras estão produzindo torque por [a distância das rodas traseiras do centro de gravidade] x [a força lateral produzida pelas rodas traseiras]. Isso causa resistência na direção oposta às rodas dianteiras, afetando o torque das rodas dianteiras.

Por exemplo, durante a curva, quando você vira o volante, o torque das rodas dianteiras se torna maior que o das rodas traseiras, que inicia o giro do veículo. O torque causado pelas rodas dianteiras e traseiras é igual mais próximo do ponto de corte da curva. Quando se passa desse ponto, virar o volante de volta faz com que o torque produzido pela roda traseira seja maior que o da roda dianteira, o que interromperá a rotação.

Diagrama 1-1-4



DICAS

O diagrama 1-1-4 mostra a força gerada pelas rodas traseiras e dianteiras de um Nissan GT-R NISMO GT3 (esquerda) e um Nissan Delta Wing (direita). Vamos presumir que o eixo rotacional do veículo esteja no centro de gravidade. A seguir, observe que a distância às rodas dianteiras e traseiras de cada eixo rotacional (centro de gravidade) é diferente. Agora podemos ver que, para equilibrar o torque gerado nas rodas dianteiras e traseiras, a força que precisa ser gerada pelas rodas dianteiras e traseiras é diferente para cada veículo. O centro de gravidade do Delta Wing fica na parte mais traseira, então a força de aderência necessária dos pneus dianteiros e traseiros é completamente diferente. Na realidade, um pneu especial com somente 10 cm de largura é usado na dianteira do Delta Wing. Em comparação, o centro de gravidade do GT-R NISMO GT3 fica próximo do centro da carroceria, então uma quantidade de força basicamente equivalente é exigida dos pneus dianteiros e traseiros.

1

O conceito de energia

2

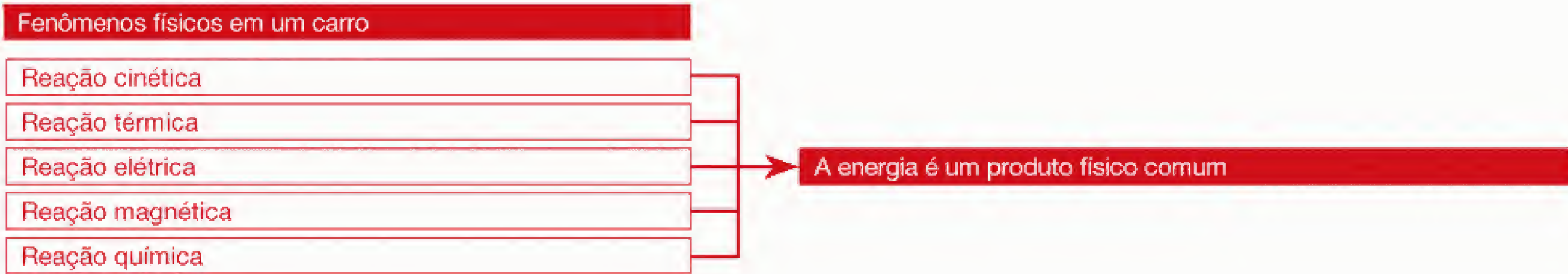
► Introdução à conservação da energia

A lei da conservação da energia

As reações físicas em um carro incluem variedades cinéticas, térmicas, magnéticas e químicas. Por exemplo, quando o combustível acende no cilindro de um motor, a temperatura no cilindro sobe e move o pistão, o resultado de uma reação química, térmica e cinética. Além da força, esses diferentes

tipos de fenômenos físicos produzem uma coisa em comum, energia. A energia pode transformar uma forma em outra, mesmo entre diferentes fenômenos físicos, sendo que a quantidade total de energia não se altera antes nem depois da conversão, permanecendo constante. O que é chamado de lei da conservação da energia.

Diagrama 1-2-1 O conceito de energia



Frear é o ato de trocar de energia cinética para energia térmica

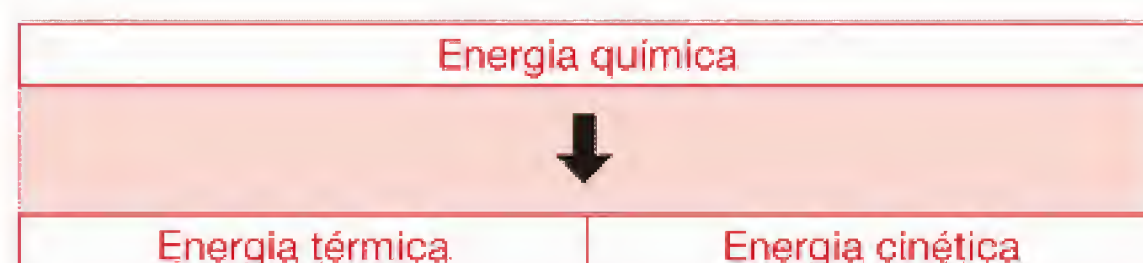


■ | Conservação do cilindro do motor

Se observarmos a energia criada pelo fenômeno físico de um cilindro em movimento em um motor, veremos que a energia química do combustível é convertida em energia térmica e cinética. Ou seja, o motor a gasolina é um dispositivo que converte energia química em energia

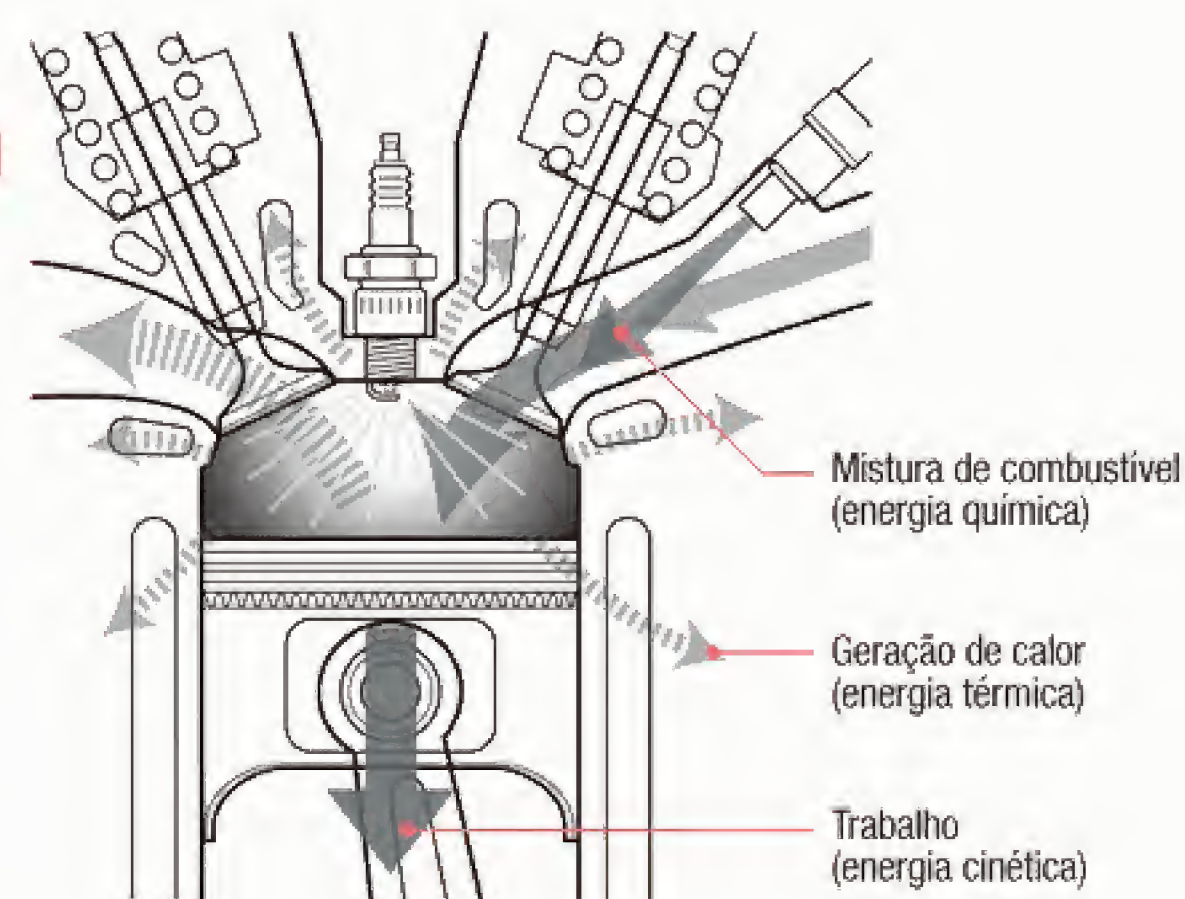
cinética, uma forma conveniente para o uso pelas pessoas. Nesse momento, a lei da conservação da energia garante que a quantidade de energia química convertida é igual à soma das quantidades transferidas para energia térmica e cinética. A eficiência de um motor em converter energia química em energia cinética útil é o que define a eficiência de um motor.

Diagrama 1-2-2 O conceito da conversão de energia no cilindro de um motor



A conversão de energia não muda a quantidade total de energia. O que é chamado de lei da conservação da energia.

Diagrama 1-2-3



O mecanismo da vibração

► A vibração está relacionada à massa e à elasticidade de um objeto

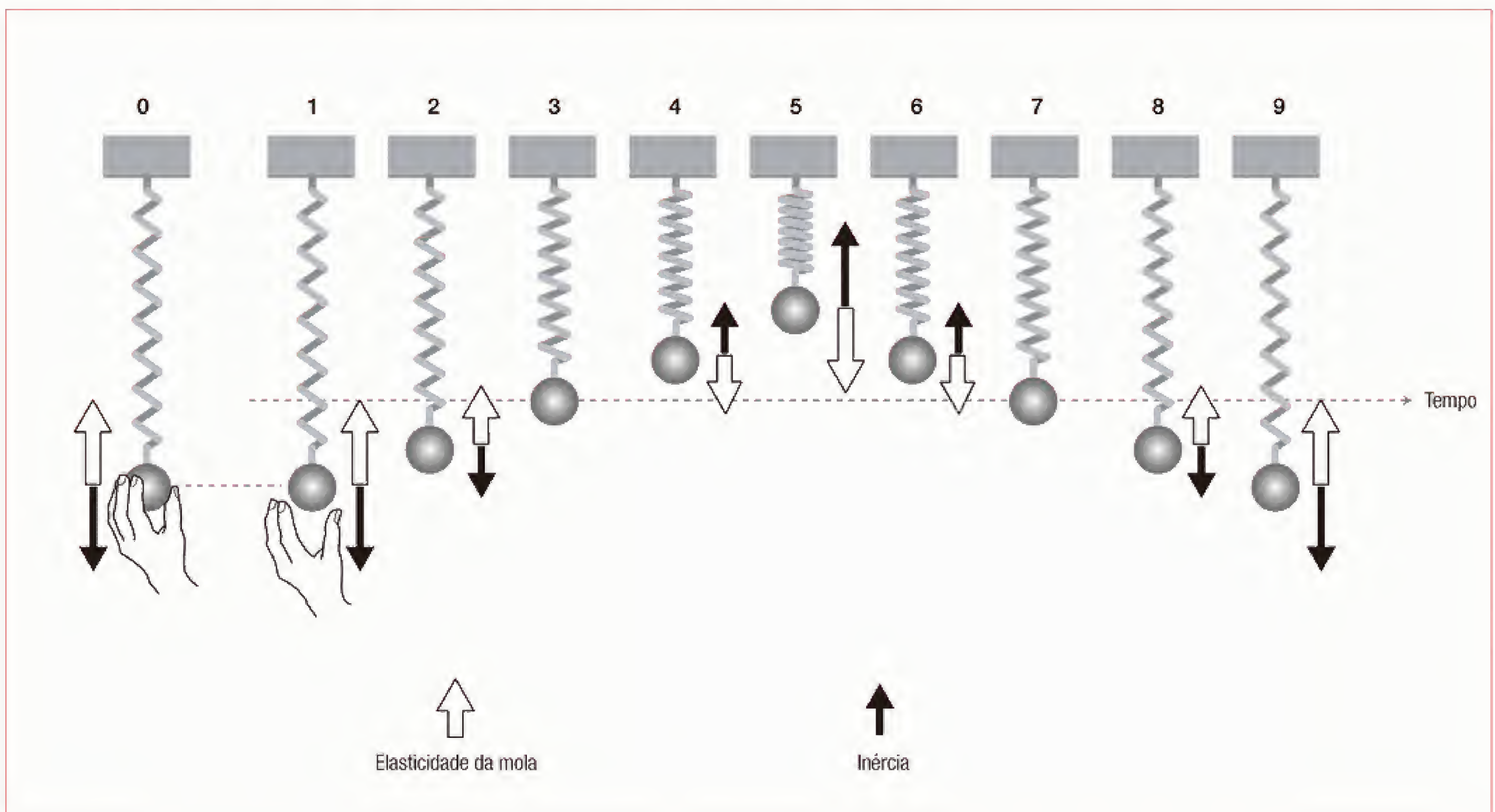
A vibração ocorre em todos os motores automotivos, sistemas de suspensão, carrocerias de carros etc. Na Parte Dois, explicaremos os detalhes de como o movimento de um veículo também faz parte do fenômeno de vibração. Então, qual é o mecanismo da vibração? Antes de entrarmos na discussão do movimento do veículo, permita-nos esclarecer o conceito de vibração.

A vibração vista do aspecto da força

Uma maneira fácil de conceituar isso é imaginar uma mola com um peso preso a ela. Este é um sistema de vibração simples (diagrama 1-3-1). Quando o peso é empurrado com a mão, a mola é esticada e é criada elasticidade contra a força (1-2). Ao soltar o peso, a mola retornará a seu comprimento original, enquanto empurra o peso de volta por meio de sua

elasticidade (3). A mola retornará a seu comprimento original e, mesmo depois de a força elástica chegar a zero, o peso continuará em movimento devido à inércia (4). Quando a mola chega à compressão máxima, o movimento do peso diminui ao ponto em que o peso para momentaneamente (5), mas logo a força do peso faz com que ele se mova novamente (6). A mola comprimida se estica e exerce sua elasticidade, tentando retornar à sua forma original (7). Ao fazê-lo, a inércia do peso faz com que ela se mova novamente (8). O ciclo de 1 a 8 se repete e diminui gradualmente à medida que a mola retorna a sua posição original. Essa é a vibração como vista do aspecto da força. Durante o fenômeno da vibração, a inércia e a elasticidade de um objeto tornam-se, cada uma, causa e efeito.

Diagrama 1-3-1 Quando observada do aspecto da força, a força inercial do peso sempre corresponde à elasticidade da mola. Observe que o comprimento das setas na direção vertical da mola é igual em cada processo



■ A vibração vista do aspecto da força

A vibração descrita dessa forma pode ser observada por meio da lei da conservação da energia. Se analisarmos a vibração do aspecto da energia, pode-se dizer que ela é uma troca da energia cinética do peso com a expansão e a contração da energia elástica da mola. A energia elástica da

mola é maior quando o deslocamento da mola é maior (a mola está totalmente esticada ou totalmente contraída), como mostram as posições 1, 5 e 9 do diagrama 1-3-1.

A velocidade máxima e, assim, a energia cinética do peso, podem ser vistas nas posições 3 e 7 e, nesses pontos, a mola retornou momentaneamente a seu comprimento original.

Diagrama 1-3-2 Quando vista do aspecto da energia, a vibração é a troca de energia cinemática do peso e de energia elástica da mola

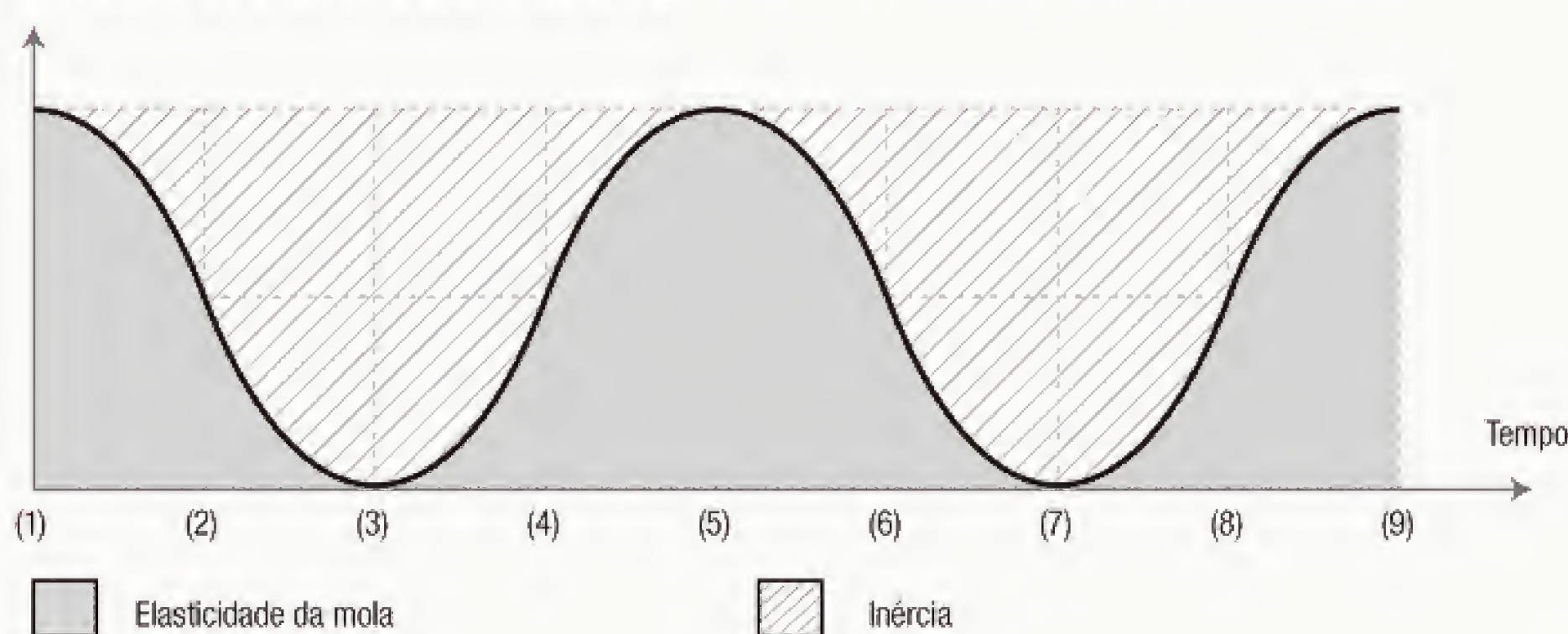
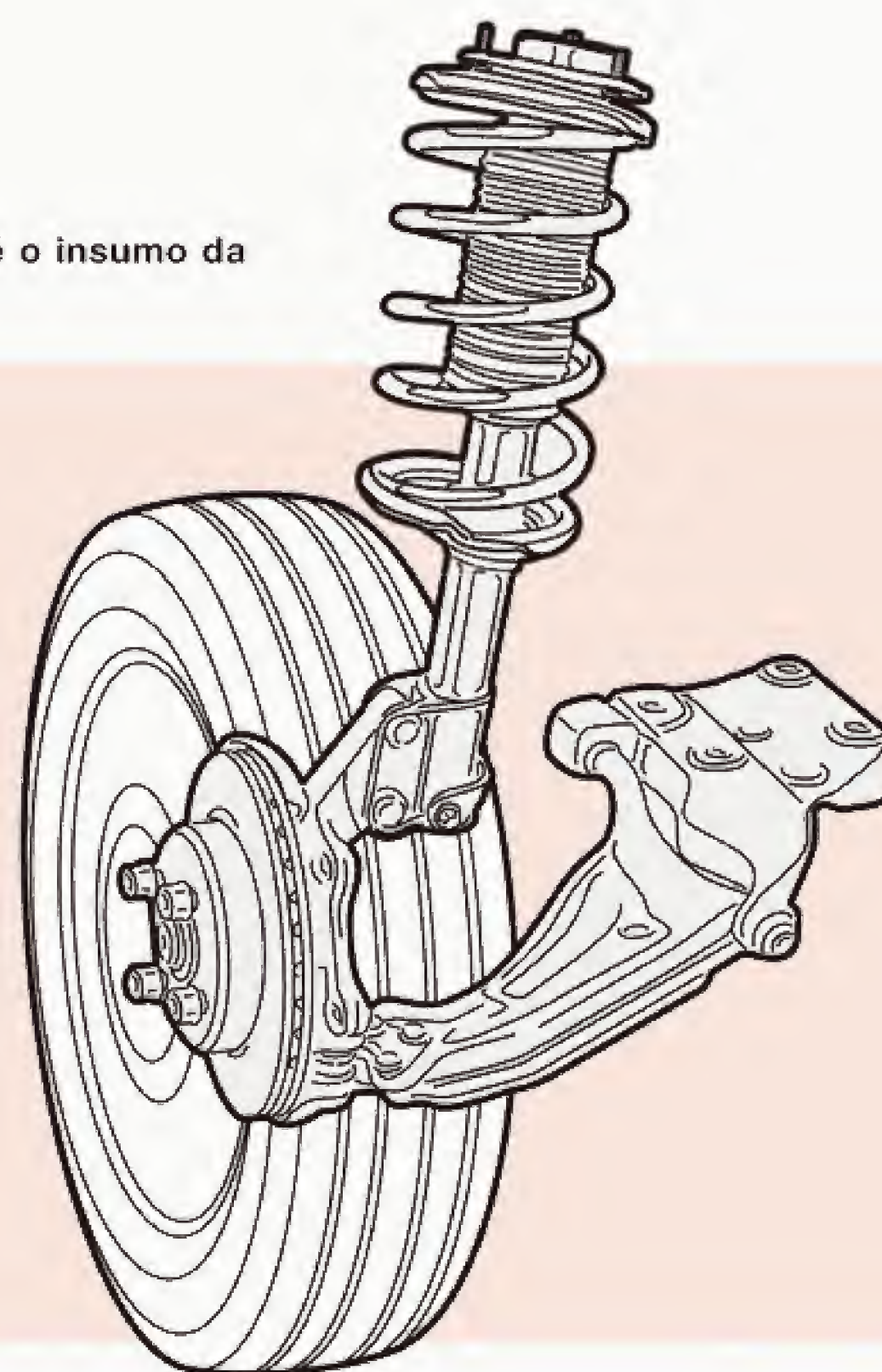


Diagrama 1-3-3 A vibração mais óbvia relacionada à carroceria de um veículo é o insumo da superfície da estrada transmitida para a suspensão

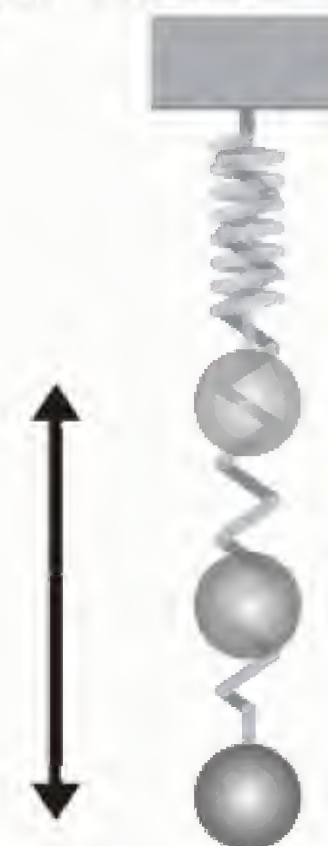


1 Fenômeno da ressonância

4 ► A ressonância é um estado em que o sistema se torna não resistente à excitação externa

O fenômeno conhecido como ressonância complica a consideração desses assuntos, como sistemas de suspensão e vibração do motor. A ressonância deve ser evitada o máximo possível, mesmo quando gerada por necessidade. Para esse fim, vamos tentar entender exatamente o que é a ressonância.

Diagrama 1-4-1 Quando deixamos o sistema vibrar livremente, ele vibra em sua frequência natural e não vibra em outras frequências

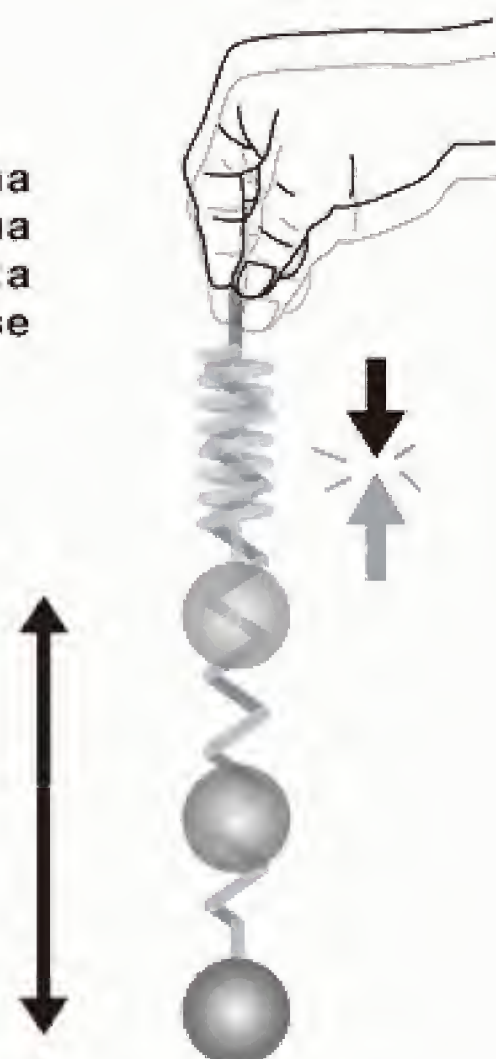


■ Vibração livre e frequência natural

Vamos considerar o sistema de vibração composto de uma mola e um peso. Depois de esticar este sistema uma vez, deixe o vibrar livremente. Isso é chamado de vibração livre. Logo, o peso e a mola vibram a uma determinada frequência consistente. O resultado será o mesmo, independentemente da força ou suavidade com que o sistema é empurrado. O número de vibrações por segundo é natural à elasticidade da mola e à massa do peso. Isso é chamado de frequência natural. Essa frequência natural é uma frequência baseada na vibração do próprio sistema e, quando está vibrando em sua frequência natural, a elasticidade da mola e a inércia do peso sempre serão iguais, levando às trocas naturais repetidas de energia.

Diagrama 1-4-2

Mesmo quando forçamos um sistema a vibrar em uma taxa diferente de sua frequência natural, o sistema tenta vibrar em sua frequência natural. Esse movimento resulta na resistência

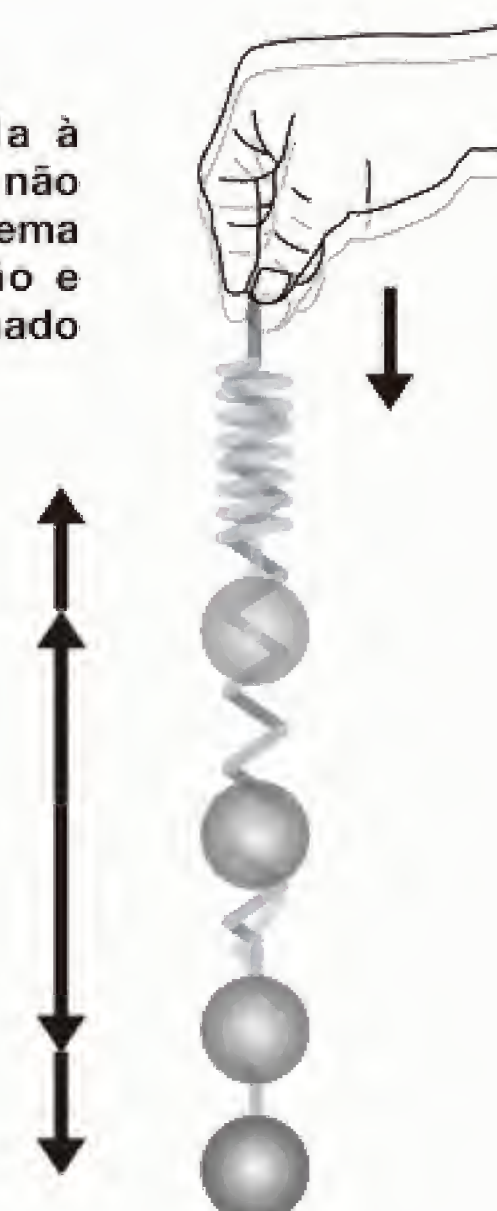


■ Vibração e ressonância forçadas (continuação)

Agora vamos forçar a mola a se esticar e contrair e forçar o peso com a mão. Isso é chamado de vibração forçada. Fazer isso de forma que não permita a frequência natural deve fazer com que você sinta a resistência em sua mão. Quando um sistema de vibração vibra em sua frequência natural, qualquer outra frequência é considerada não natural ao sistema de vibração. Independentemente de a vibração ser aplicada externamente ou não, um sistema de vibração tentará vibrar em sua vibração natural, então, todas as outras vibrações levarão a uma sensação de resistência.

Diagrama 1-4-3

Quando a vibração é adicionada à frequência natural de um sistema, ela não causa resistência. Em vez disso, o sistema absorve a energia cinética da mão e aumenta sua amplitude. O que é chamado de ressonância



■ Vibração e ressonância forçadas (continuação)

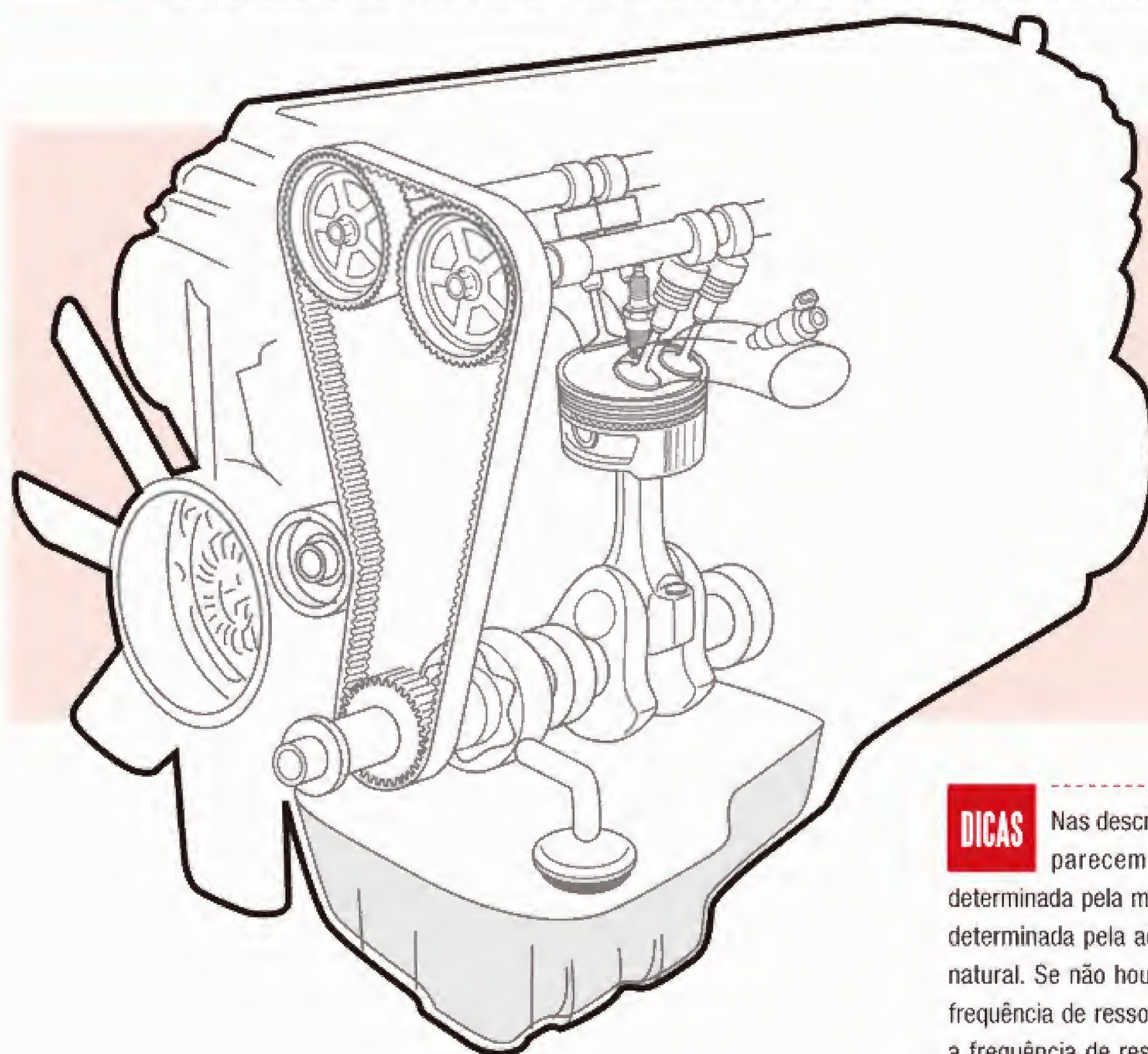
O que acontecerá se você esticar e contrair o sistema em sua frequência natural? Você não sentirá resistência, pois a vibração estará em sua frequência natural. Você deve notar que a amplitude da vibração cresce para combinar com a vibração adicional. Isso se deve à absorção pelo sistema da energia da excitação externa em vez de resistir a ela. A vibração do sistema continuará a crescer enquanto a excitação externa for adicionada à vibração natural.

Como explicado anteriormente, o fenômeno em que a vibração aumenta devido à vibração externa adicional na

vibração natural do sistema é chamado de “ressonância” e a frequência neste ponto é chamada de “frequência de ressonância”.

Por exemplo, a ressonância na suspensão diminui o conforto de viagem e a resistência ao solo. Além disso, se o motor causar ressonância, o próprio motor estaria danificado. Por isso, é necessário evitar a ressonância o máximo possível. Uma maneira de evitar danos causados pela ressonância é usar um sistema de amortecimento. O amortecedor absorve a energia da vibração e a converte em energia térmica, que se dispersa externamente. Assim, um sistema de amortecimento eficaz pode evitar danos aos mecanismos.

Diagrama 1-4-4 O motor pode ser visto como um sistema de vibração, no qual as vibrações são causadas pela combustão constante. Se um motor ressoa, isso pode levar a danos sérios no cabeçote e no bloco do motor



DICAS Nas descrições até agora, a frequência natural e a frequência da ressonância parecem as mesmas, mas este não é o caso. A frequência natural é determinada pela massa e a elasticidade da mola, mas a frequência da ressonância é determinada pela adição do elemento da força de amortecimento sobre a frequência natural. Se não houver força de amortecimento no sistema, a frequência natural e a frequência de ressonância serão iguais, mas se existir um sistema de amortecimento, a frequência de ressonância será reduzida e será diferente em relação à frequência natural do sistema. Observe que a frequência de ressonância (frequência natural) que não está sujeita a um sistema de amortecimento é às vezes chamada de “frequência natural não amortecida”, e a frequência de ressonância com amortecimento é às vezes chamada de “frequência natural amortecida”.

1 Efeito da força de amortecimento

5 ► O estado da vibração varia com a força de amortecimento

Até agora, consideramos os casos da vibração em um sistema de vibração composto por molas e pesos, e vimos que a ressonância é um problema se o sistema de vibração for vibrado à força em sua frequência natural (frequência de ressonância). Existem alguns métodos para evitar problemas causados pela ressonância, mas o mais comum é instalar um amortecedor no sistema de vibração. Um amortecedor é um dispositivo que

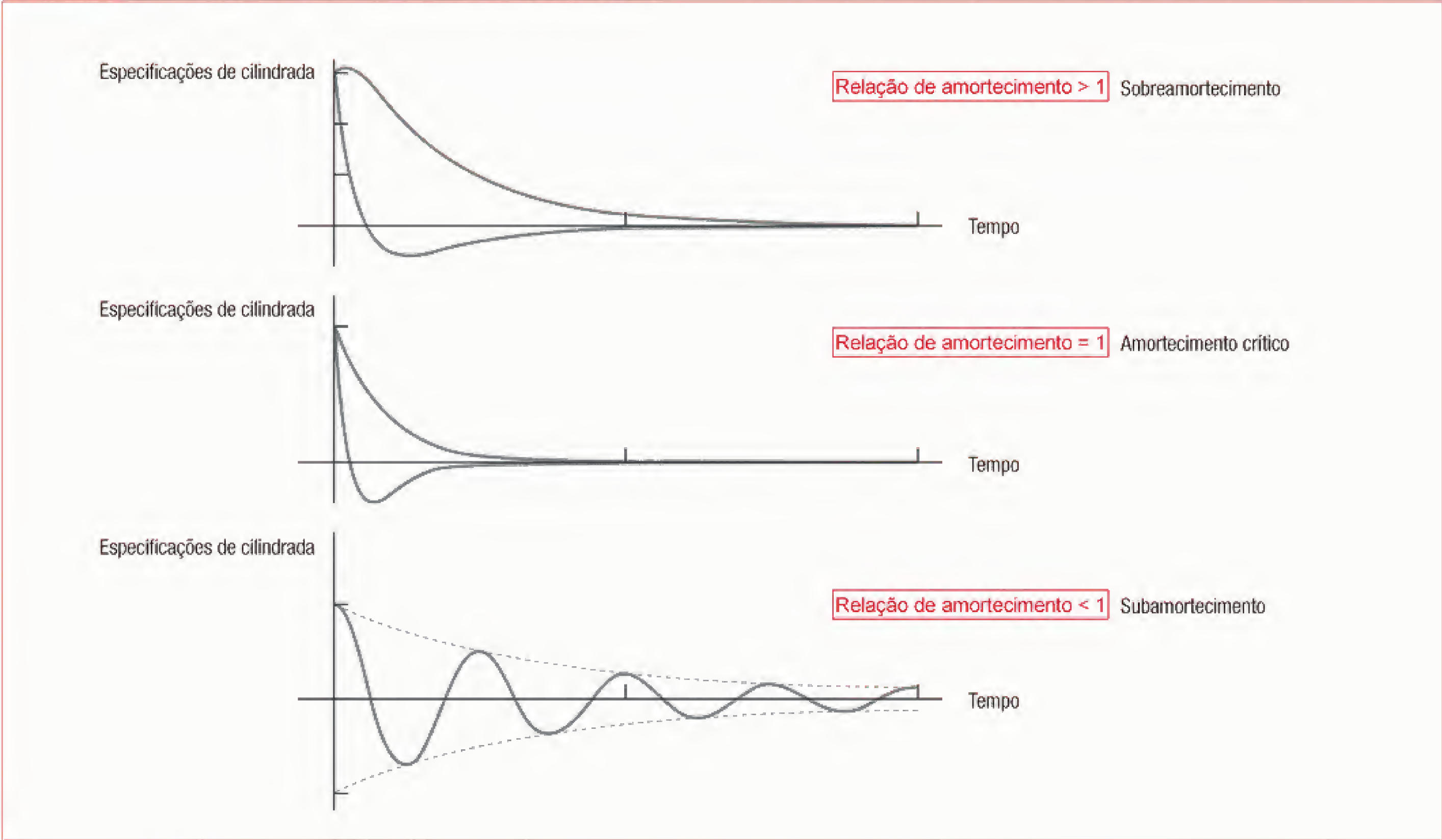
dissipa a vibração convertendo energia cinética em energia térmica. Porém, o estado da vibração é significativamente alterado pela força de amortecimento do amortecedor. Vamos analisar mais de perto o efeito da diferença na força de amortecimento no fenômeno da vibração.

Vibração livre com uma relação de amortecimento diferencial

A vibração descrita até agora é um resultado da força elástica da mola e da força da massa, mas, se inserimos um amortecedor no sistema de vibração, a vibração é amortecida e o movimento logo para. Durante o processo, a resistência da força de amortecimento afetará o amortecimento da vibração. Aqui a taxa de amortecimento é um indicador da resistência da força de amortecimento do amortecedor contra o efeito da força elástica da mola e da massa.

Se a taxa de amortecimento for maior que 1, o movimento do sistema de vibração converge para um estado de não vibração, porque a força de amortecimento é maior que a da mola e da massa. Este estado é chamado de sobreamortecimento (excesso de atenuação). No estado de sobreamortecimento, a amplitude diminui com o tempo e entra em um movimento aperiódico que é assintótico a 0. Se a taxa de amortecimento for menor que 1, porque está em um

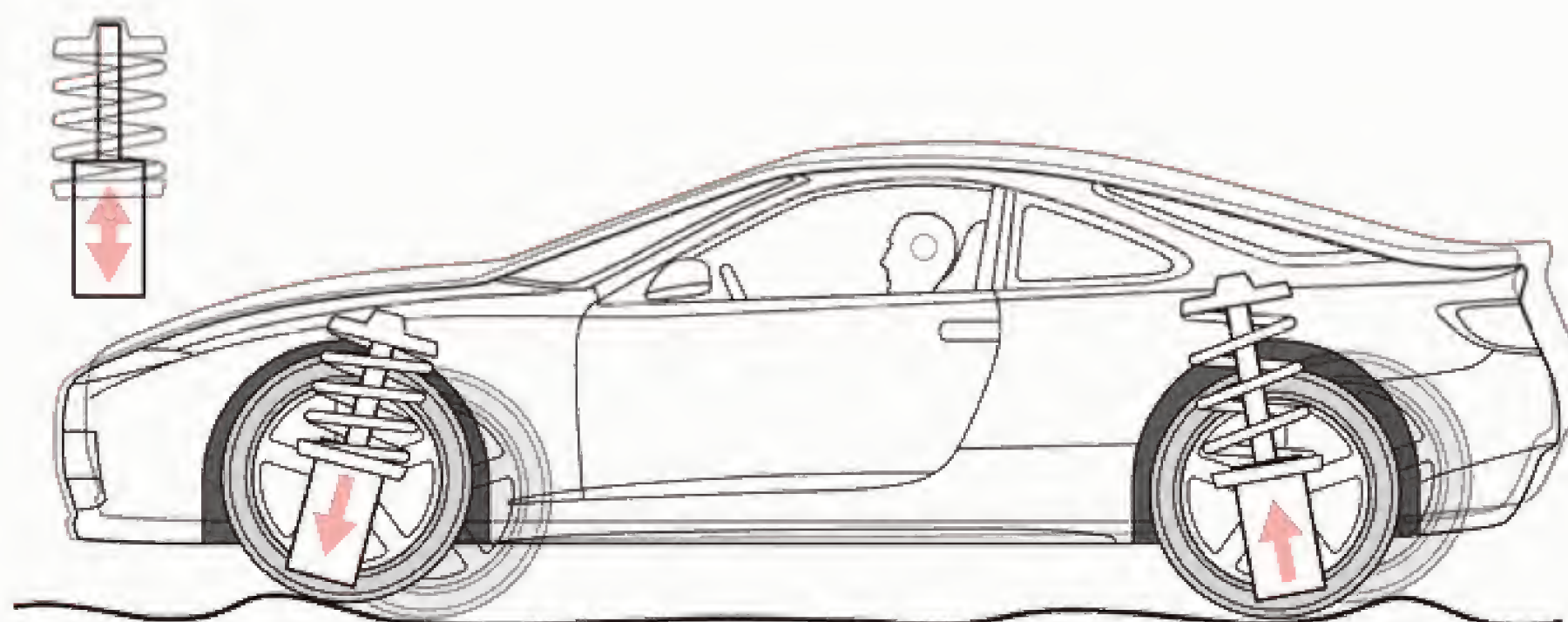
Diagrama 1-5-1 Exemplo de vibração do sistema de amortecimento



estado em que a força da mola e da massa é forte comparada com a força de amortecimento, a amplitude da vibração diminui com o tempo e continuará a estender o período da vibração. Este estado é chamado de subamortecimento (falta de atenuação). A propósito, quando a taxa de amortecimento é 0, a força de amortecimento não ocorre, criando um estado semelhante a quando o amortecedor não está funcionando.

Assim, a vibração não é amortecida. Além disso, se a taxa de amortecimento for 1, um estado crítico é criado bem no limite do ponto em que a vibração ocorre. Esse estado é chamado de amortecimento crítico.

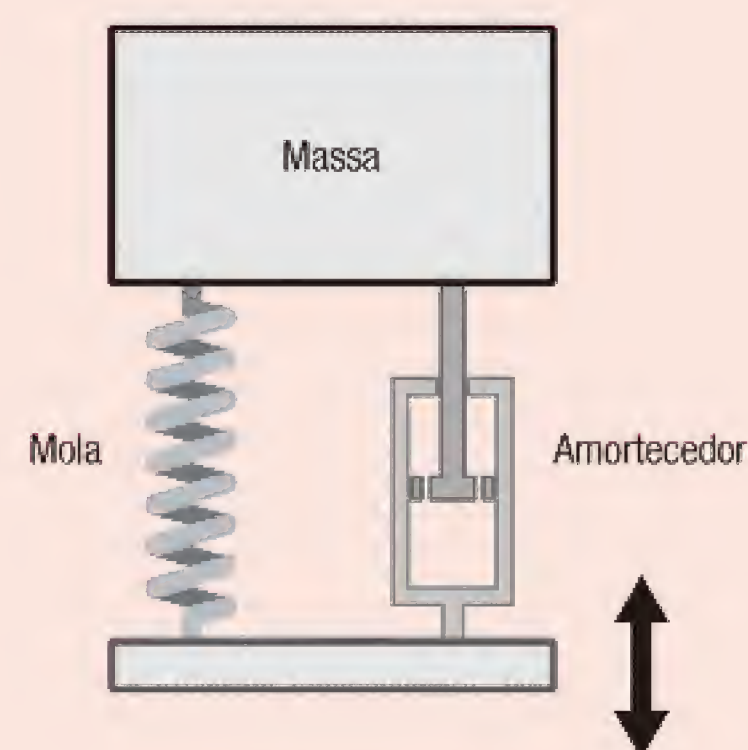
Diagrama 1-5-2 Amortecedor da suspensão do carro. A proporção de amortecimento é um indicador importante ao ajustar a suspensão. Por experiência, diz-se que a proporção é de cerca de 0,1 a 0,3 para carros de passageiros padrão, cerca de 0,5 para esportivos e cerca de 0,7 para carros de corrida (Obs.: não há exceções para esses números)



DICAS

Para evitar que a vibração afete a base que sustenta as máquinas em vibração e outras estruturas e vice-versa, peças como borracha, pneus, molas e amortecedores geralmente são usados como sustentação. É muito comum criar um modelo de sistema de vibração, incluindo os suportes mencionados anteriormente, como mostra o diagrama 1-5-3, para ver como a vibração afeta o maquinário e sua base. Por exemplo, a suspensão pode ser modelada e retratada juntamente com as molas, amortecedores e massa como uma unidade para avaliar a característica da vibração. Isso será tratado com mais detalhes na Parte 2.

Diagrama 1-5-3 Modelo da vibração de base



1 Diferença de fase

6 ► A diferença de fase é a diferença no ritmo da vibração

Quando o veículo interage com a ondulação da superfície de uma estrada, a suspensão “reduz” a amplitude da ondulação transmitida para a carroceria. O resultado é que a amplitude da carroceria será mais suave que a ondulação da estrada. Quando a ondulação da estrada for um insumo, é muito importante observar quanto da amplitude do veículo

(ou da “resposta”), para o insumo é suprimida. No entanto, isso não é tudo; a “velocidade de resposta em relação a um insumo” também é muito importante.

Diagrama 1-6-1 Ondulação de uma superfície de estrada real e amplitude da carroceria causada por meio da suspensão. Vamos nos concentrar nessa relação. Reduzir a amplitude da carroceria é de vital importância, mas saber a rapidez de resposta da estrutura à ondulação da superfície da estrada também é crucial

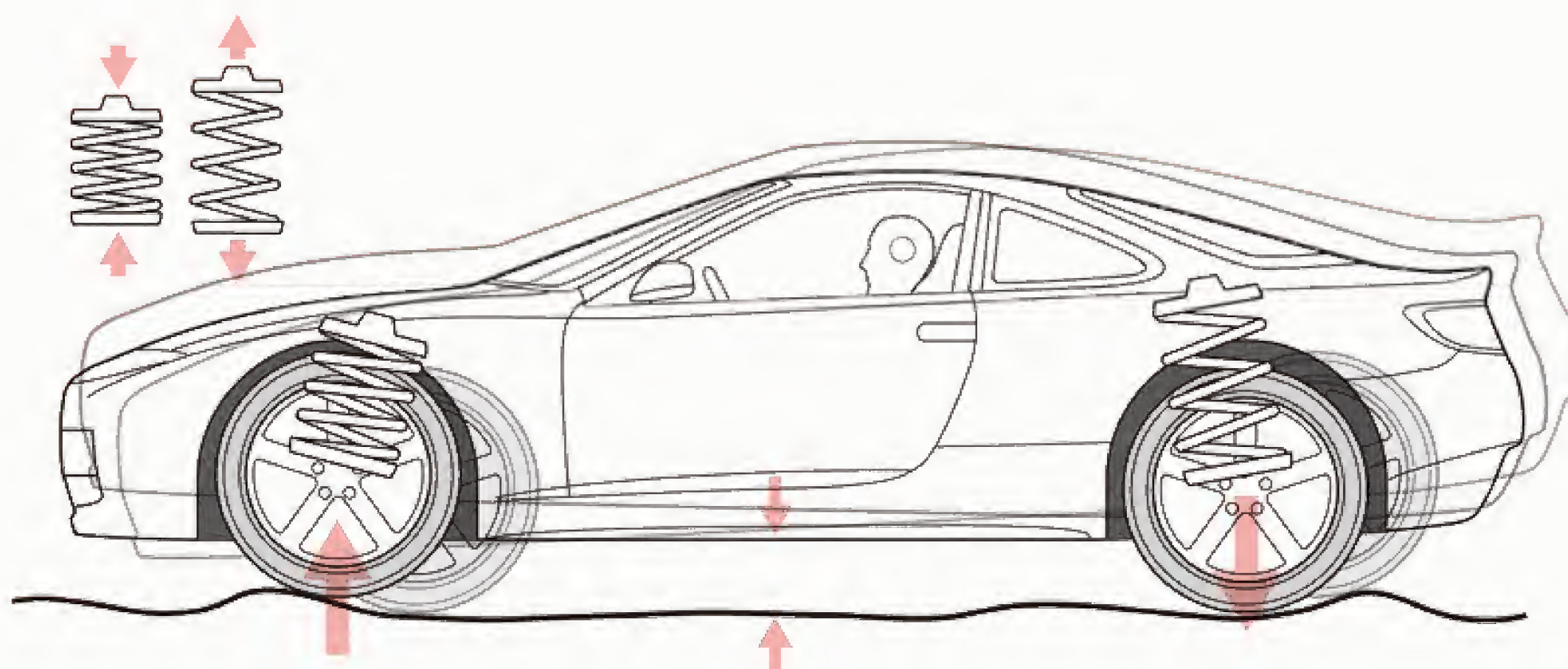
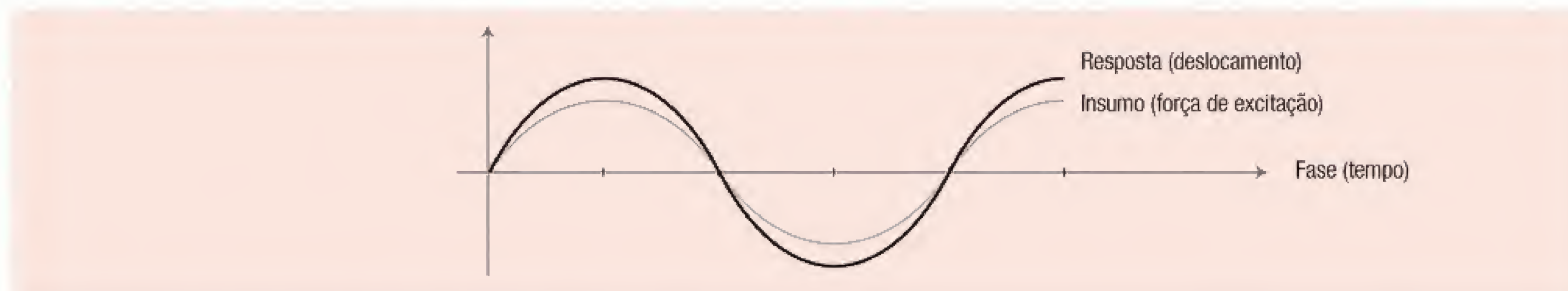


Diagrama 1-6-2 Instalação de 7 colunas (sob o piso) da fabricante de suspensões KW

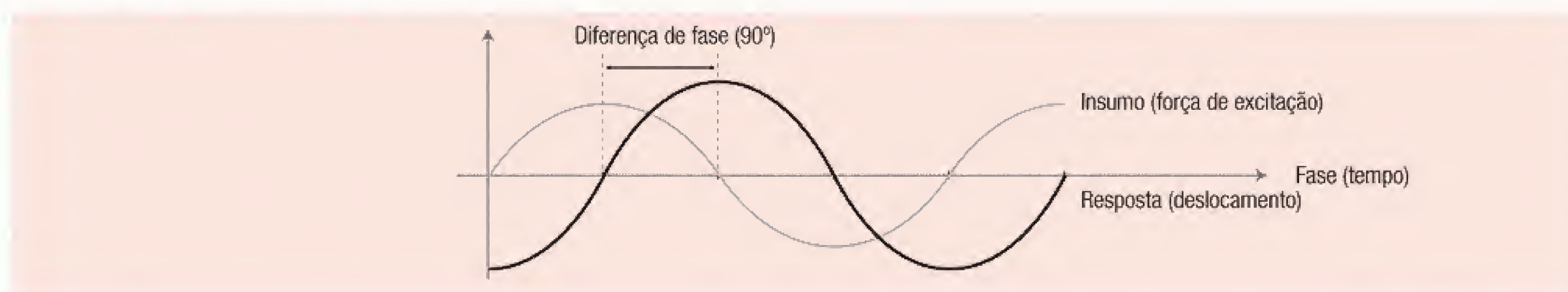


Diagrama 1-6-3

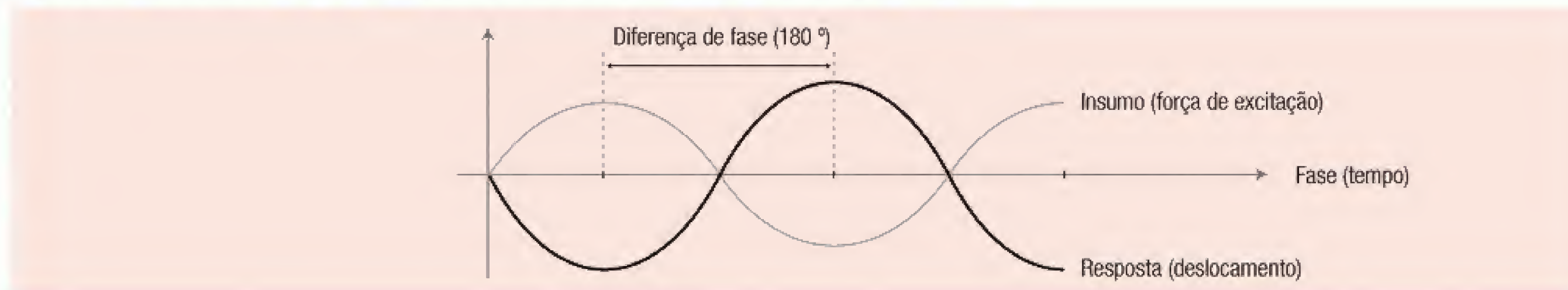
Se a frequência de vibração no ponto onde a vibração é aplicada for significativamente menor, as fases de entrada e resposta da amplitude serão correspondentes



A fase se altera em 90° com a vibração em sua frequência natural



A diferença de fase se altera 180° quando a frequência da vibração de excitação é aumentada significativamente



■ | Diferença do ritmo da vibração

A “diferença de fase” é usada para avaliar a rapidez com que determinados sistemas de vibração reagem ao insumo. Vamos discutir isso novamente usando um sistema de vibração de pesos e molas.

Quando sua mão força uma excitação de frequência diferente da frequência natural da mola e do peso (frequência de ressonância), por que sua mão sente resistência? Como explicado anteriormente, o sistema de vibração causará resistência porque qualquer frequência de vibração além da frequência natural é considerada não natural. Alternativamente, pode-se dizer que “o ritmo da vibração da mão é diferente do ritmo da vibração natural do sistema de vibração”. Para ser mais específico, a diferença de ritmo é

causada pela “diferença entre a direção na qual a vibração é adicionada e a direção da inércia do peso”. Essa diferença de ritmo é chamada de “diferença de fase”.

Observe o diagrama 1-6-3. Quando adicionamos lentamente vibração à frequência de vibração, a direção da força da mão e a expansão e contração da mola vibram na mesma direção e no mesmo ritmo. Não há diferença na entrada nem na resposta nesse momento, então a diferença de fase é 0 (diagrama 1-6-3, acima). Porém, quando a frequência de entrada é aumentada significativamente, a diferença de fase acaba ficando em 180 graus, pois a força inercial do peso e a força de excitação de sua mão agem em direções opostas (diagrama 1-6-3, abaixo). Observe que a diferença de fase seria de 90 graus se o sistema fosse vibrado em sua frequência natural (diagrama 1-6-3, centro).

1 Resposta de frequência

7 ► Para a análise do movimento do veículo e da suspensão

■ Entendendo a diferença de resposta da excitação de frequência

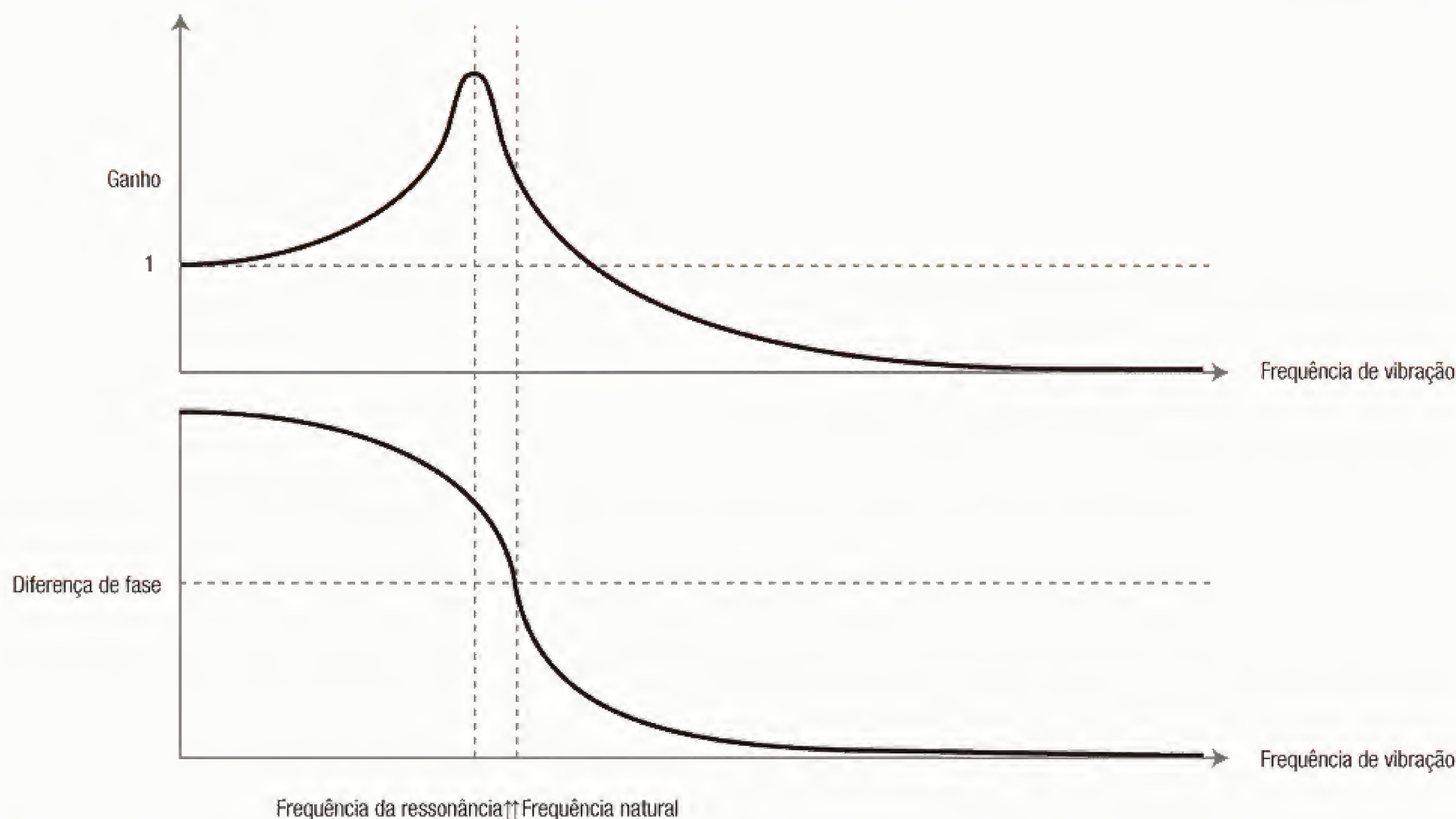
Uma resposta, como a diferença de amplitude e de fase em relação à frequência de excitação (frequência de vibração da excitação), é chamada de resposta de frequência. Até agora discutimos separadamente a diferença de fase e as mudanças de amplitude devido à frequência de vibração da excitação (frequência), mas agora analisaremos como a fase e as respostas de amplitude do sistema de vibração mudam devido à frequência da excitação.

Na análise da vibração de um carro, analisar a resposta de frequência geralmente é feita por meio de um diagrama de

Bode. O diagrama 1-7-1 é um diagrama de Bode e o gráfico acima é chamado de diagrama de magnitude. Ele mostra a magnitude (ganho) da resposta à frequência de excitação (insumo). O gráfico abaixo do diagrama 1-7-1 é chamado de diagrama de fase e mostra o distanciamento da resposta (diferença de fase) em relação à entrada.

Até agora, pensamos em um sistema de vibração composto por um peso e uma mola. Para tornar as coisas um pouco mais sofisticadas, tente pensar em um sistema de vibração com um amortecedor adicionado a ele (diagrama 1-7-2). Para começar, vamos definir a relação de amortecimento em um número abaixo de 1 ou, em outras palavras, aplicar o subamortecimento.

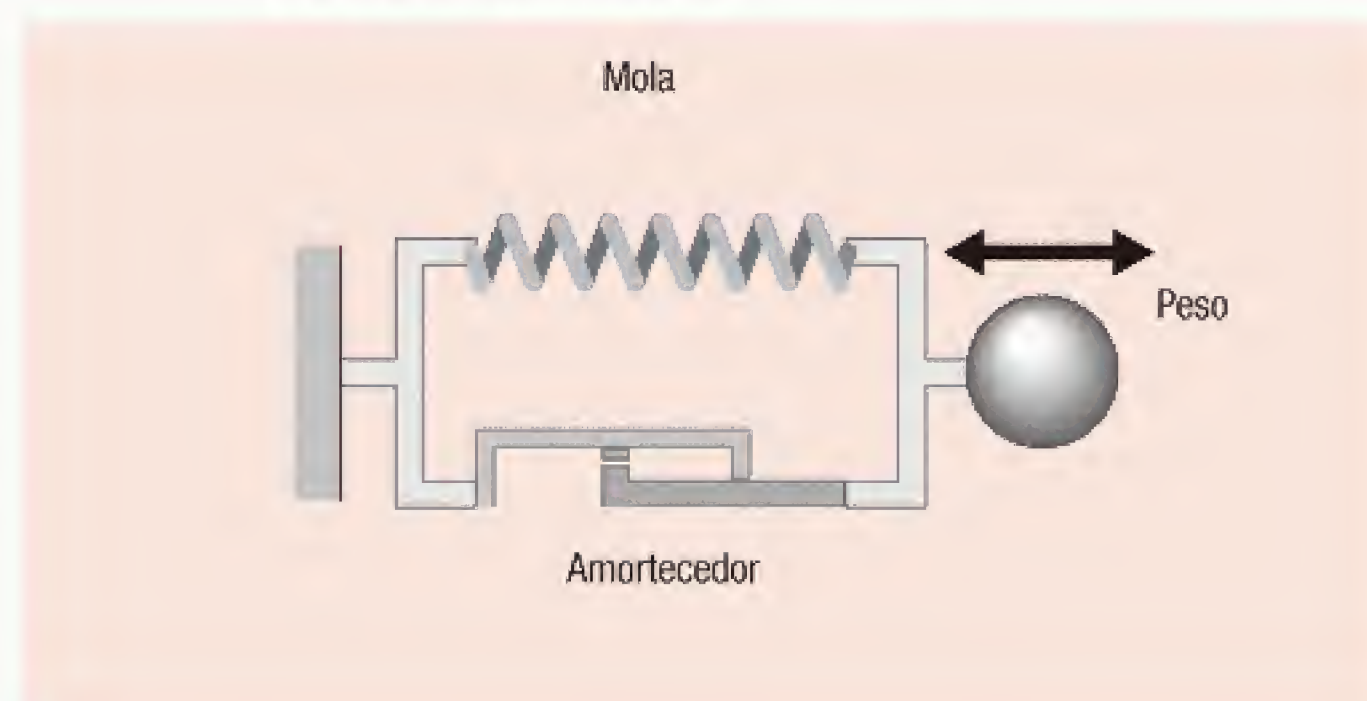
Diagrama 1-7-1 O diagrama de Bode mostrando a resposta de frequência de um sistema de vibração composto por mola, amortecedor e peso



Capturando a vibração do sistema de amortecimento por meio do diagrama de Bode

Com este modelo em mente, vamos aumentar gradualmente a frequência da vibração de seu estado estacionário. Quando a frequência está significativamente baixa, a relação de amplitude é 1 ou, em outras palavras, a amplitude da excitação e a amplitude da mola não têm diferenças. A partir daí, à medida que a frequência é aumentada, a amplitude aumenta e a diferença de fase fica maior. Quando a frequência de vibração atinge um determinado número, a amplitude é maximizada: isso é chamado de ressonância. A partir daí, aumentar a frequência reduzirá a amplitude, até que ela se aproxime de 0. Por outro lado, quando a frequência de vibração é significativamente baixa, a excitação e a mola se movem com o mesmo ritmo e na mesma direção, de forma que a diferença de fase será 0. No entanto, em frequência de vibração natural, a diferença de fase será de -90 graus e, em uma frequência de vibração extremamente alta, a diferença de fase será de -180 graus.

Diagrama 1-7-2 Este modelo é composto por mola, amortecedor e peso. O amortecedor é incorporado em paralelo à mola, para evitar que a amplitude se torne infinitamente grande na ressonância



1 Vibração na suspensão

8 ► A vibração em um sistema de liberdade de vários graus

Para facilitar isso, tentamos entender os fundamentos da vibração, por meio de um modelo de vibração simples que combina, um a um, cada elemento da vibração de uma mola, peso e amortecedor. Porém, um carro real é um sistema de vibração que combina várias vibrações desses elementos.

Vamos analisar as características básicas dos vários elementos no sistema de controle de vibração antes de realizar o controle de vibração, como o ajuste da suspensão em si.

■ Características de vibração da suspensão

Embora existam vários mecanismos na suspensão de um automóvel, ele é essencialmente um sistema de vibração composto de massa, uma mola e um amortecedor, podendo ser modelado como mostra o diagrama 1-7-2. O amortecedor e a mola, localizados entre a roda e a carroceria do veículo, representam o que chamamos de sistema de suspensão do carro, e o amortecedor e a mola localizados entre a superfície da estrada e a roda são os pneus.

Vamos demonstrar com as várias frequências de vibração que agem neste modelo (diagrama 1-8-2). Em uma frequência muito próxima de um estado de repouso, o deslocamento da carroceria e o deslocamento de uma ondulação de estrada serão iguais, então a relação de amplitude seria de 1. A partir daí, se você aumentar lentamente a frequência, a amplitude também aumentará. Quando atingimos determinada frequência de vibração, a amplitude alcança um pico e ocorre a ressonância das partes acima da mola. Se a frequência for aumentada ainda mais, a amplitude diminui, mas é amplificada novamente em determinada frequência e ressonância nas partes abaixo da mola, o que, por sua vez, aumenta a amplitude da carroceria. Se a frequência for aumentada ainda mais, a amplitude diminuirá novamente e acabará se aproximando de 0.

Diagrama 1-8-1 Modelo de somente uma roda (1/4 da vibração do veículo). O pneu, a mola e o amortecedor têm características distintas de um sistema de vibração

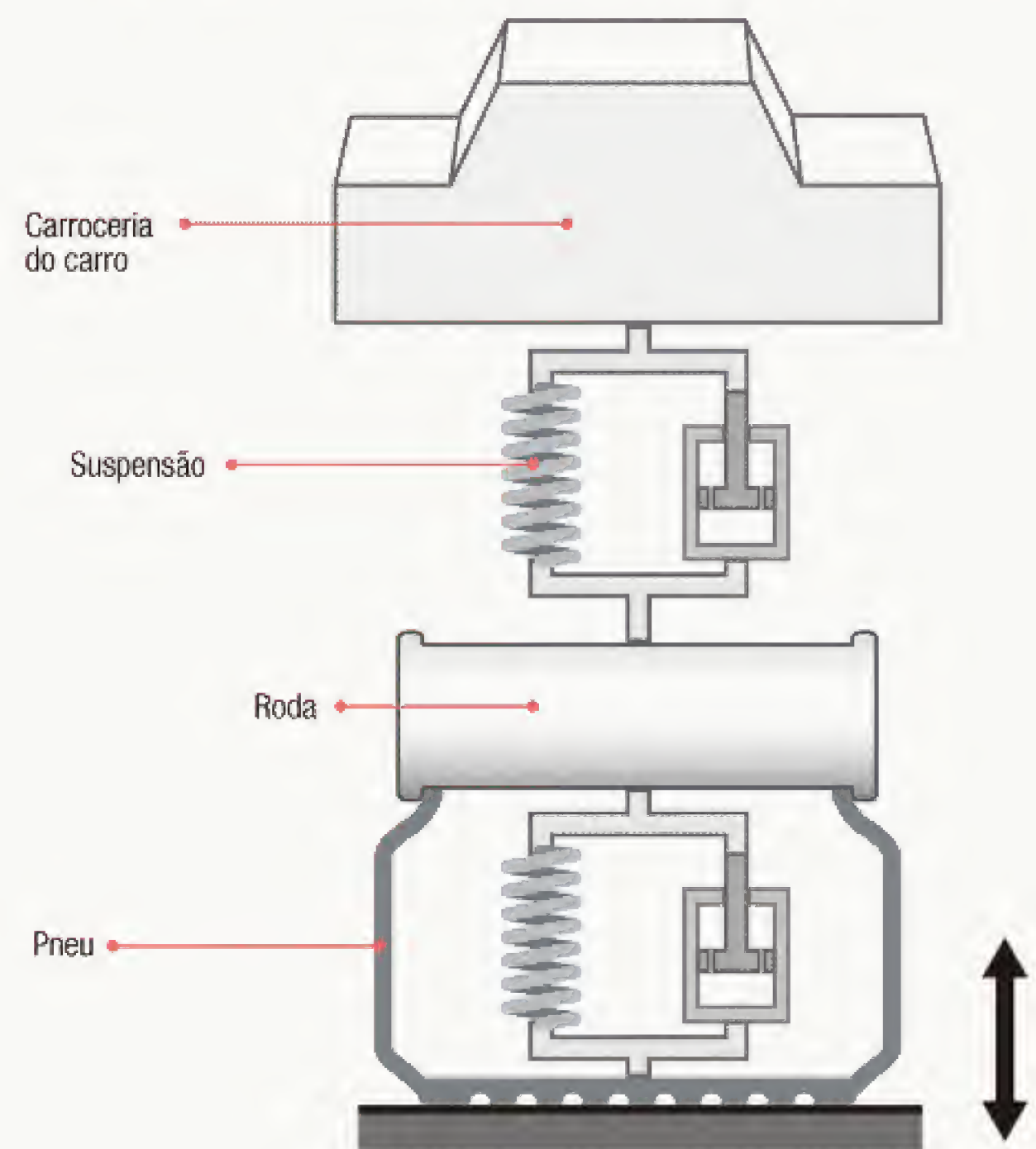
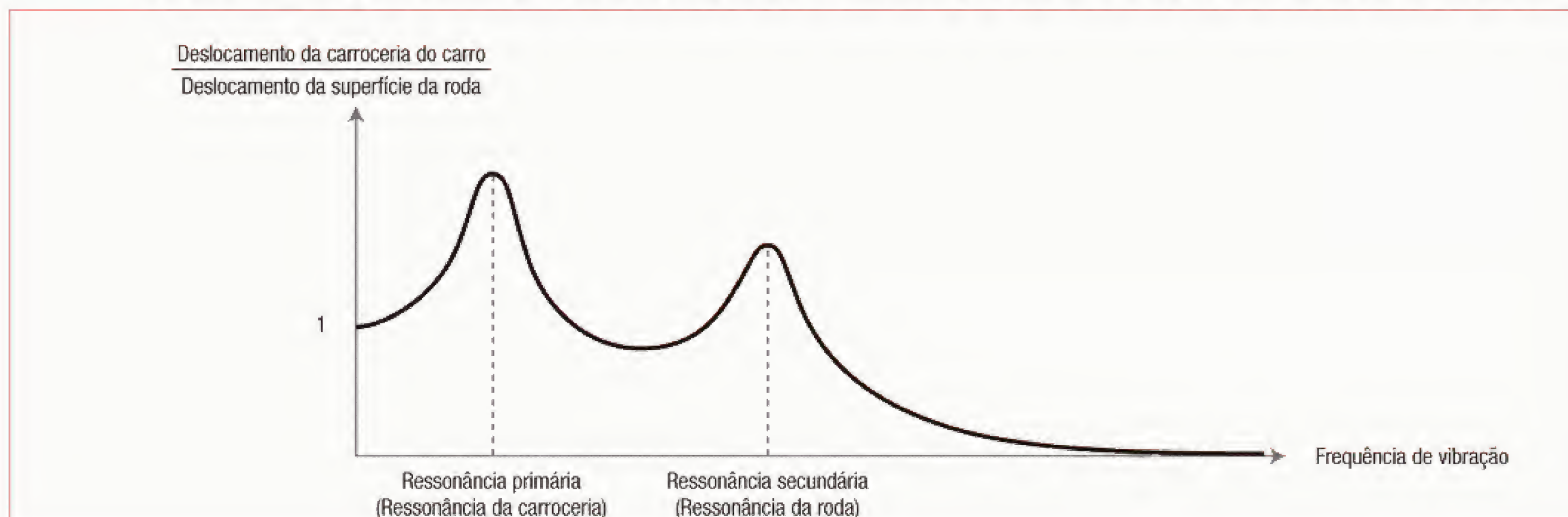


Diagrama 1-8-2 Muda à medida que a frequência de vibração é gradualmente aumentada. A ressonância da carroceria ocorre em uma frequência de vibração relativamente baixa, enquanto que a ressonância da roda ocorre em frequências de vibração mais altas



■ | Modo de vibração

A ressonância ocorreu duas vezes no exemplo acima, mas ela pode ocorrer muitas vezes à medida que o sistema se desloca em diferentes direções. O número de direções nas quais o sistema pode se deslocar é chamado de “grau de liberdade”. Neste caso, o pneu e a mola podem, cada um, se mover para cima e para baixo em uma direção cada, então um total de duas frequências naturais está envolvido e, como os dois tipos de ressonância podem ocorrer, este sistema de vibração terá um grau de liberdade de 2.

A ressonância inicial é chamada de “ressonância

principal”, enquanto que a segunda ressonância é chamada de “ressonância secundária”. A ressonância em uma máquina geralmente ocorre um número limitado de vezes, mas o que é importante na engenharia é a ressonância de ordem baixa, sendo que a ressonância de ordem alta geralmente é ignorada. Ou seja, neste exemplo, a ressonância daquilo que está em cima da mola é mais importante que a ressonância daquilo que está abaixo da mola. O motivo é que, mesmo quando o mesmo nível de energia de vibração está envolvido, a amplitude de baixa frequência tende a ser maior, e, como esses componentes dominam os fenômenos de todo o sistema, eles determinam a maioria das características da vibração.



Diagrama 1-8-3 A avaliação da suspensão do GT-R que participou de Nürburgring exigiu o teste da suspensão em várias frequências de vibração e a análise da resposta de frequência

2 Dinâmica do pneu

1 Introdução às forças criadas pelo pneu

Força de curva

O tipo de força que deforma um objeto de uma forma aguda é chamado de “força de cisalhamento”, enquanto que a propriedade do objeto que se opõe a essa força é chamada de módulo de cisalhamento. Quando um pneu é exposto a forças de cisalhamento transversais, ele se deformará lateralmente como no diagrama 2-1-1; porém, ao mesmo tempo, o módulo de cisalhamento do pneu se oporá à força de cisalhamento. Essa propriedade de oposição do pneu que opera contra sua deformação é o que cria as forças necessárias para o carro acelerar, desacelerar e fazer curvas.

Vamos analisar mais de perto. O diagrama 2-1-2 é uma ilustração seccional do pneu durante uma curva. Como você pode ver, há uma diferença entre a direção rotacional do pneu e a direção de deslocamento do carro. Ou seja, a força

é criada a partir da interação do pneu com a superfície da estrada à medida que o pneu gira e se deforma lateralmente ao mesmo tempo. O ângulo do plano rotacional e a direção do deslocamento são chamados de ângulo de deslizamento. A força que opera perpendicularmente à direção do deslocamento é chamada de força de curva. Um carro pode virar graças à força de curva do pneu.

De modo geral, se o módulo de cisalhamento for maior, uma força de curva mais forte pode ser criada a partir do mesmo ângulo de deslizamento. Dito isto, se o módulo de cisalhamento for muito grande, o atrito pode ser saturado por um pequeno ângulo de deslizamento, o que poderá resultar em uma resposta não natural para o piloto. Se o módulo de cisalhamento for muito pequeno, a deformação do pneu será muito extrema, e pode fazer com que o piloto se sinta desconfortável ou desprotegido.

Diagrama 2-1-1 Diagrama em seção cruzada que ilustra a deformação e a força do pneu. De modo geral, o módulo de cisalhamento cria uma força de curva maior

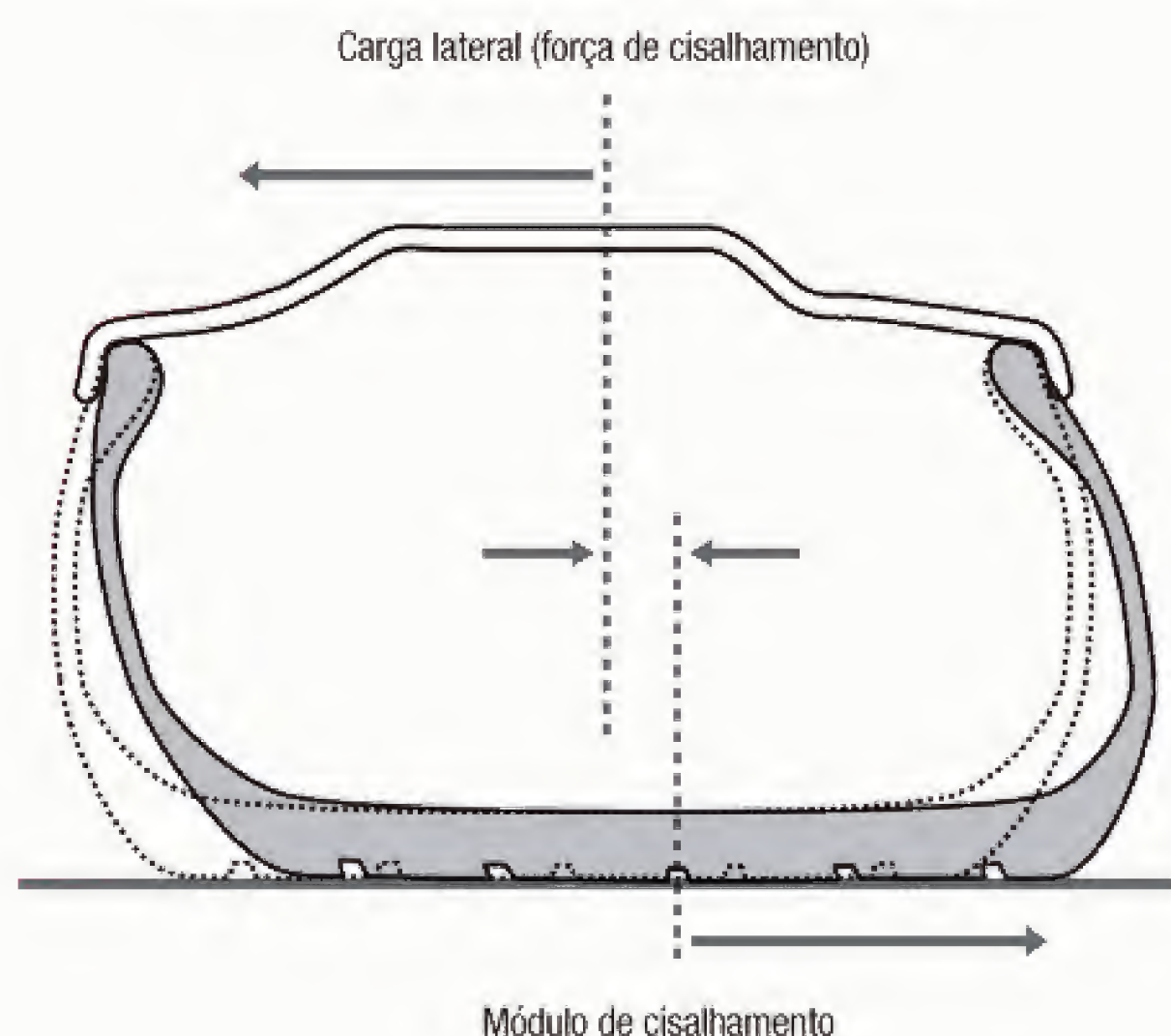
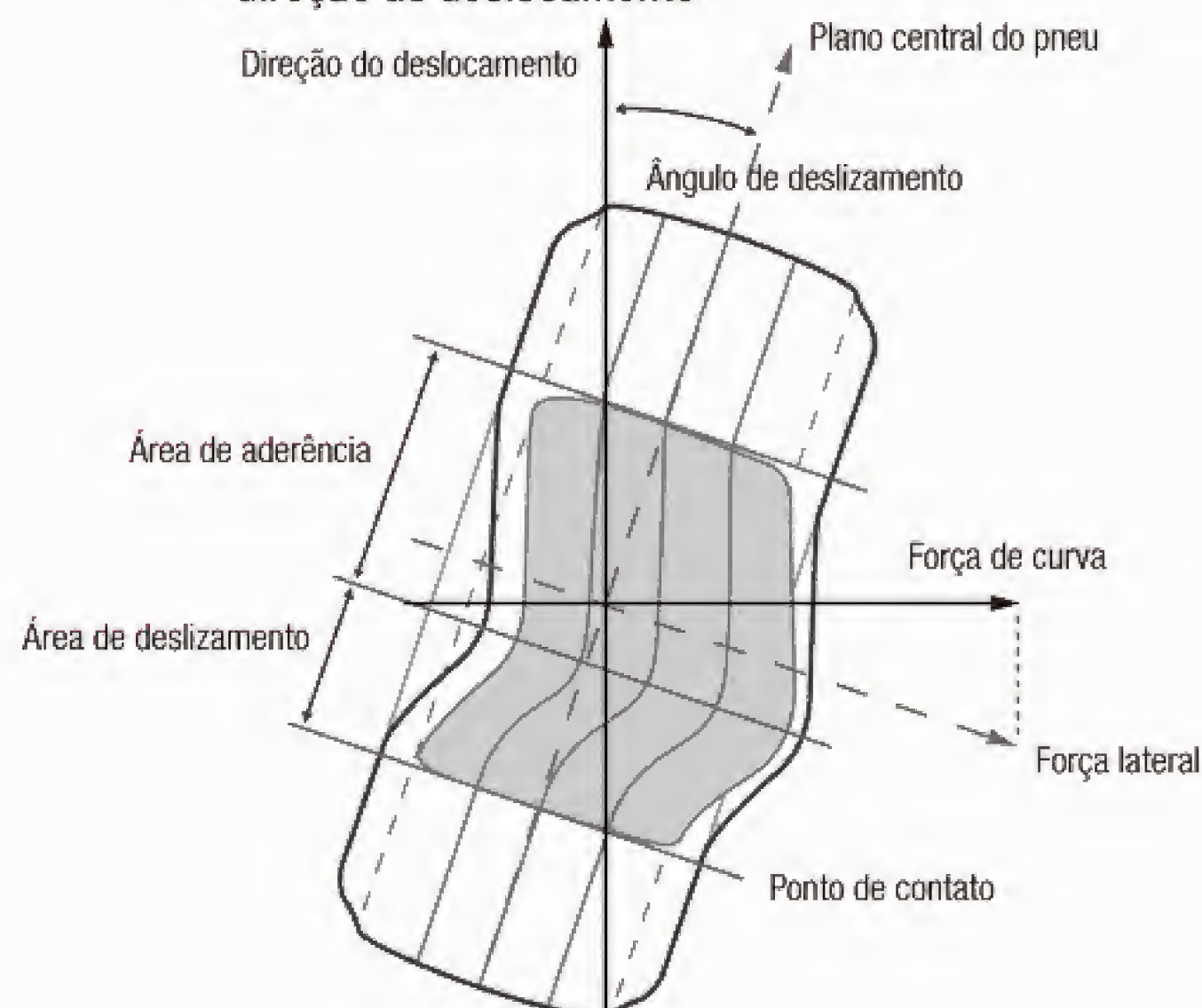


Diagrama 2-1-2 A visão superior ilustra a relação entre a deformação e a força. A força lateral ocorre perpendicularmente ao plano central do pneu. A força de curva é um elemento da força lateral que ocorre perpendicularmente à direção do deslocamento



Relação entre a força de curva e o ângulo de deslizamento

O diagrama 2-1-3 mostra a relação entre o ângulo de deslizamento e a força de curva. Quando o ângulo de deslizamento é pequeno, a força de curva mantém um aumento linear. Porém, à medida que o ângulo de deslizamento aumenta, a força de curva se satura. Essa taxa de mudança na força de curva é chamada de potência de curva. Pode-se dizer que um pneu que cria uma grande força de curva com um ângulo de deslizamento pequeno tem muita potência de curva.

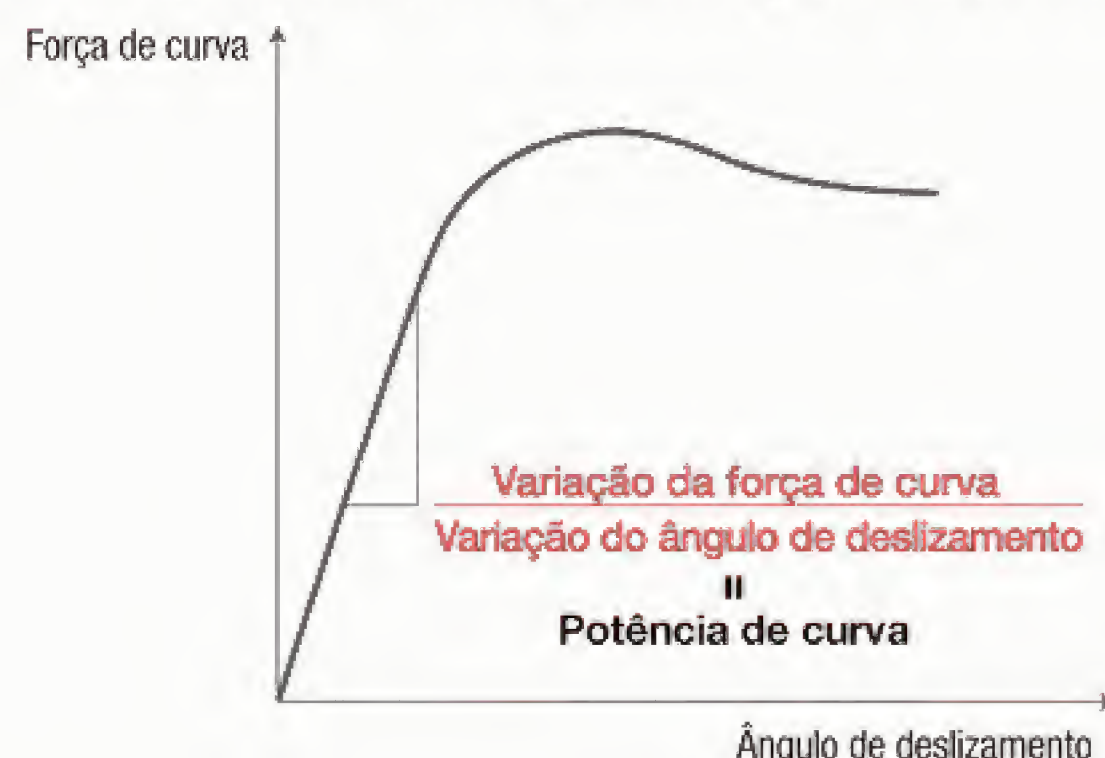
Pressão do ar e potência de curva

De modo geral, quando a pressão do ar da área é relativamente baixa, o módulo de cisalhamento aumenta com o aumento da pressão do ar, aumentando assim a potência de curva. Porém, um aumento na pressão do ar diminui a área de contato do pneu. O módulo de cisalhamento e a área de contato do pneu se opõem quando a pressão do ar aumenta. Com carga vertical baixa, a diminuição na área de contato do

A força lateral do pneu associada a propulsão e frenagem

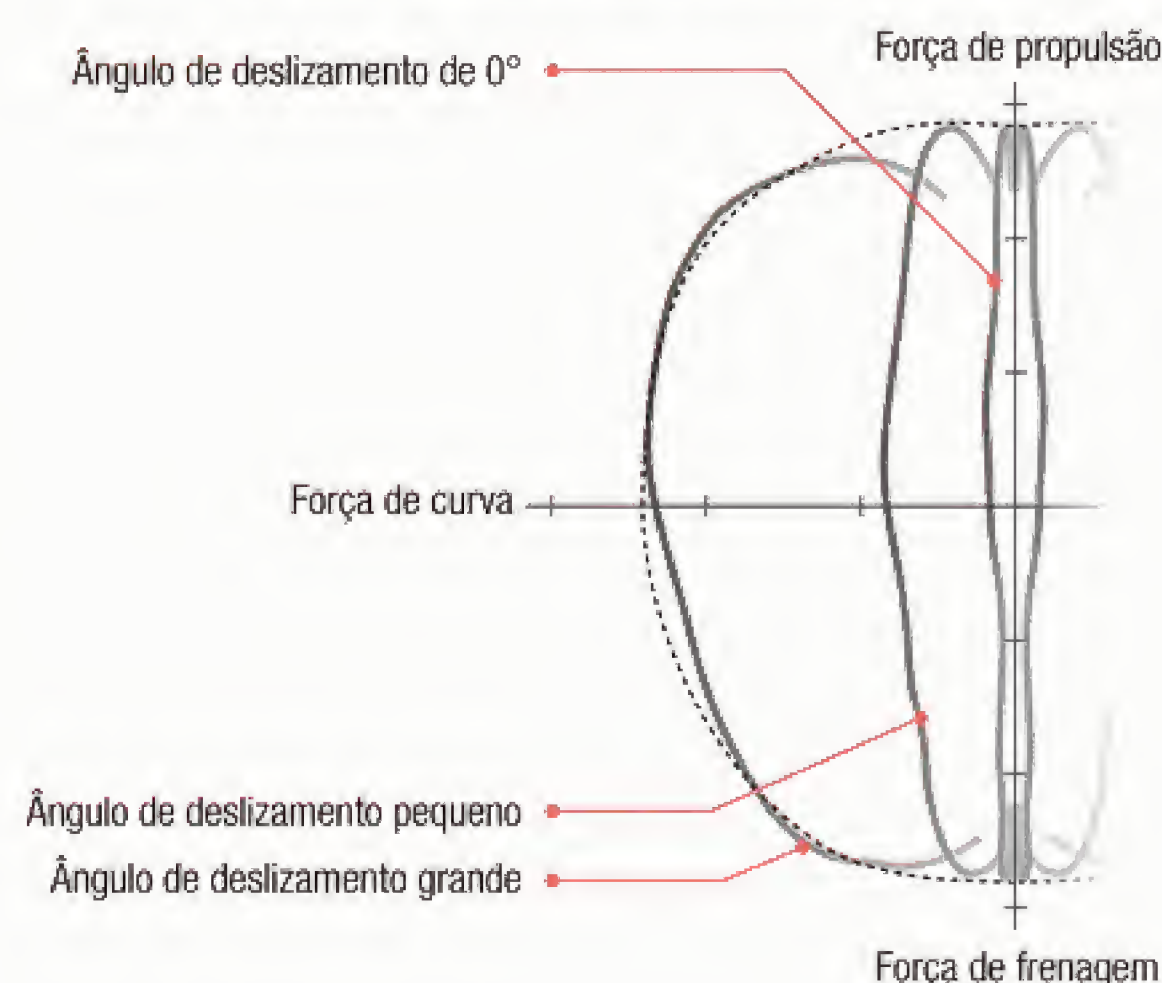
Observando o pneu de uma vista aérea, a força de aderência criada perpendicularmente à direção rotacional do pneu é chamada de força lateral. É importante entender como essa força lateral está associada à propulsão e frenagem do veículo. Quando os pedais do acelerador ou do freio são pressionados, a potência de aderência do pneu é usada para propulsão ou frenagem, diminuindo a quantidade de força lateral que pode ser criada mesmo nos mesmos ângulos de deslizamento. Isso está ilustrado no diagrama 2-1-4. Embora seja chamado de círculo de atrito, o diagrama é uma forma oval, e não perfeitamente redonda, pois os atritos longitudinal e lateral afetam o pneu diferentemente. Como a aceleração e a frenagem são repetidas continuamente em um carro de corrida, o atrito que ocorre na direção diagonal tem muito efeito nos tempos de volta.

Diagrama 2-1-3 Correlação do ângulo de deslizamento e da força de curva. A força de curva é maior dentro da área na qual o ângulo de deslizamento é relativamente pequeno. Depois de o ângulo de deslizamento alcançar determinado valor, a força de curva para de aumentar



pneu com o aumento na pressão do ar é maior que o aumento no módulo de cisalhamento, diminuindo assim a potência de curva. Por outro lado, quando a carga vertical é alta, o aumento resultante do módulo de cisalhamento do aumento da pressão do ar se torna dominante, aumentando, portanto, a potência de curva. Para maximizar a potência de curva, as características e a carga do pneu devem ser consideradas e equilibradas cuidadosamente.

Diagrama 2-1-4 Círculo de atrito. A força de curva do pneu é afetada pelo ângulo de deslizamento. O perímetro oval do círculo de atrito indica a força de curva máxima



2 Condução circular de estado estacionário

2 ► Fazer curvas depende do equilíbrio de momento dos pneus dianteiros e traseiros

Definição do equilíbrio de direção

Quando um carro é impulsionado a uma velocidade e ângulo de direção regulares, ele descreverá um curso circular com um raio fixo. Isso é chamado de condução circular de estado estacionário e geralmente é citado na dinâmica automotiva. A observação de um carro em condução circular de estado estacionário pode revelar as propriedades fundamentais do movimento veicular.

Por exemplo, imagine que um carro está em estado estacionário de condução circular e a velocidade é aumentada gradualmente. Se o momento da roda dianteira diminuir enquanto o carro acelera, o raio de curva aumentará com a velocidade (a linha de direção se expandirá). Como resultado disso, o ângulo de direção deve ser aumentado para manter o curso da condução circular de estado estacionário.

De modo inverso, se o momento da roda dianteira

diminuir, o raio de curva diminuirá à medida que o carro acelera (a linha de direção se contrairá), então o ângulo de direção deve ser diminuído para manter a linha de condução original. A falta de ângulo de direção à medida que a velocidade aumenta é chamada de subviragem (US, understeering) e a sobra de ângulo de direção é chamada de sobreviragem (OS, oversteering). Quando o raio de curva pode ser mantido sem qualquer influência da variação de velocidade, ele é chamado de viragem neutra (NS, neutral steering). Esses diferentes estados de direção do carro são chamados de características de viragem. Deve-se observar que um carro com sobreviragem atingirá o raio de curva de “0” a uma determinada velocidade (diagrama 2-2-2). Raio de curva zero significa que o carro está girando. A velocidade em que o carro começa a girar é chamada de velocidade de estabilidade crítica.

Diagrama 2-2-1 Mudanças no deslizamento do veículo quando a velocidade é aumentada

OS: momento da roda dianteira > momento da roda traseira
US: momento da roda dianteira < momento da roda traseira
NS: momento da roda dianteira = momento da roda traseira

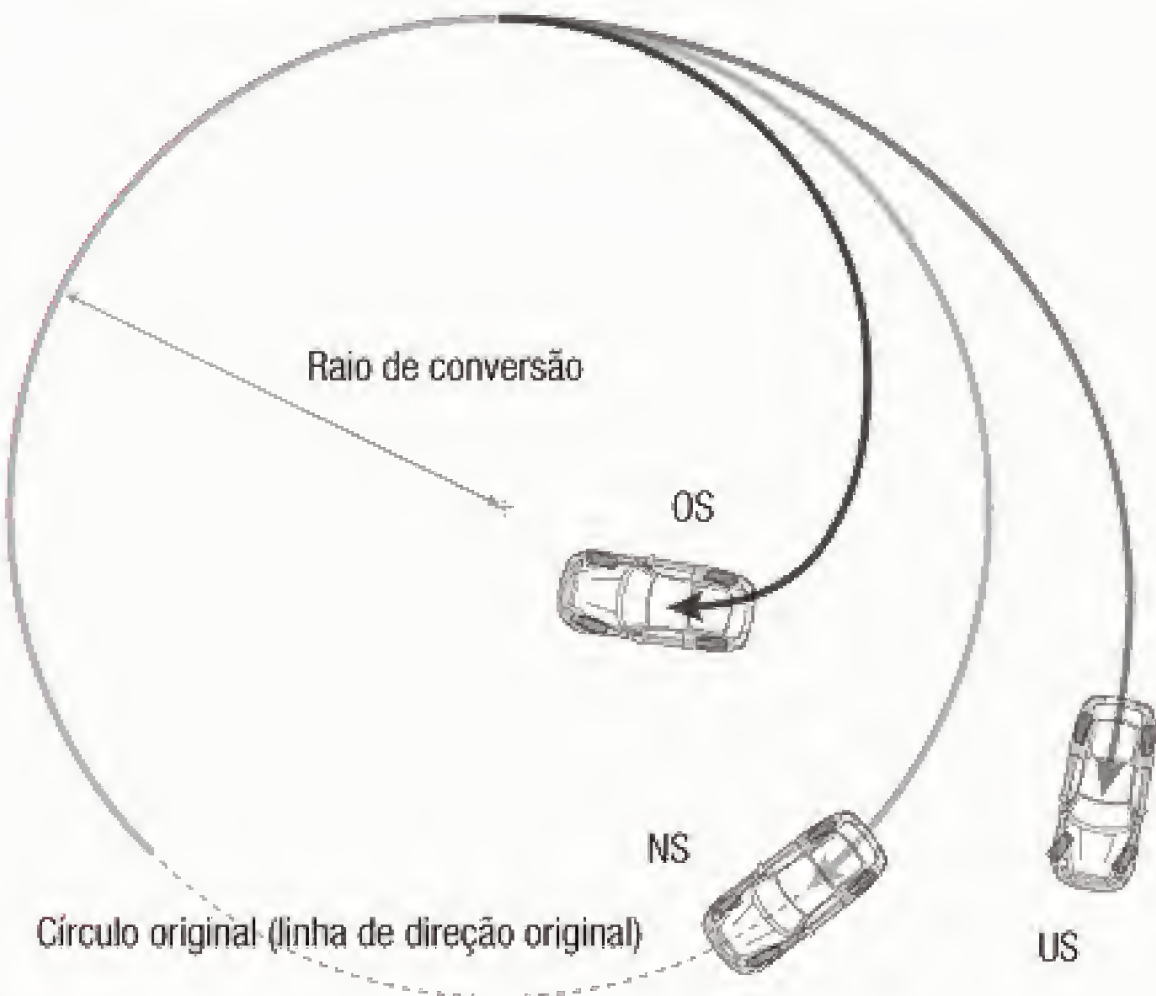


Diagrama 2-2-2 Correlação de velocidade e raio de conversão sob ângulo de direção estável

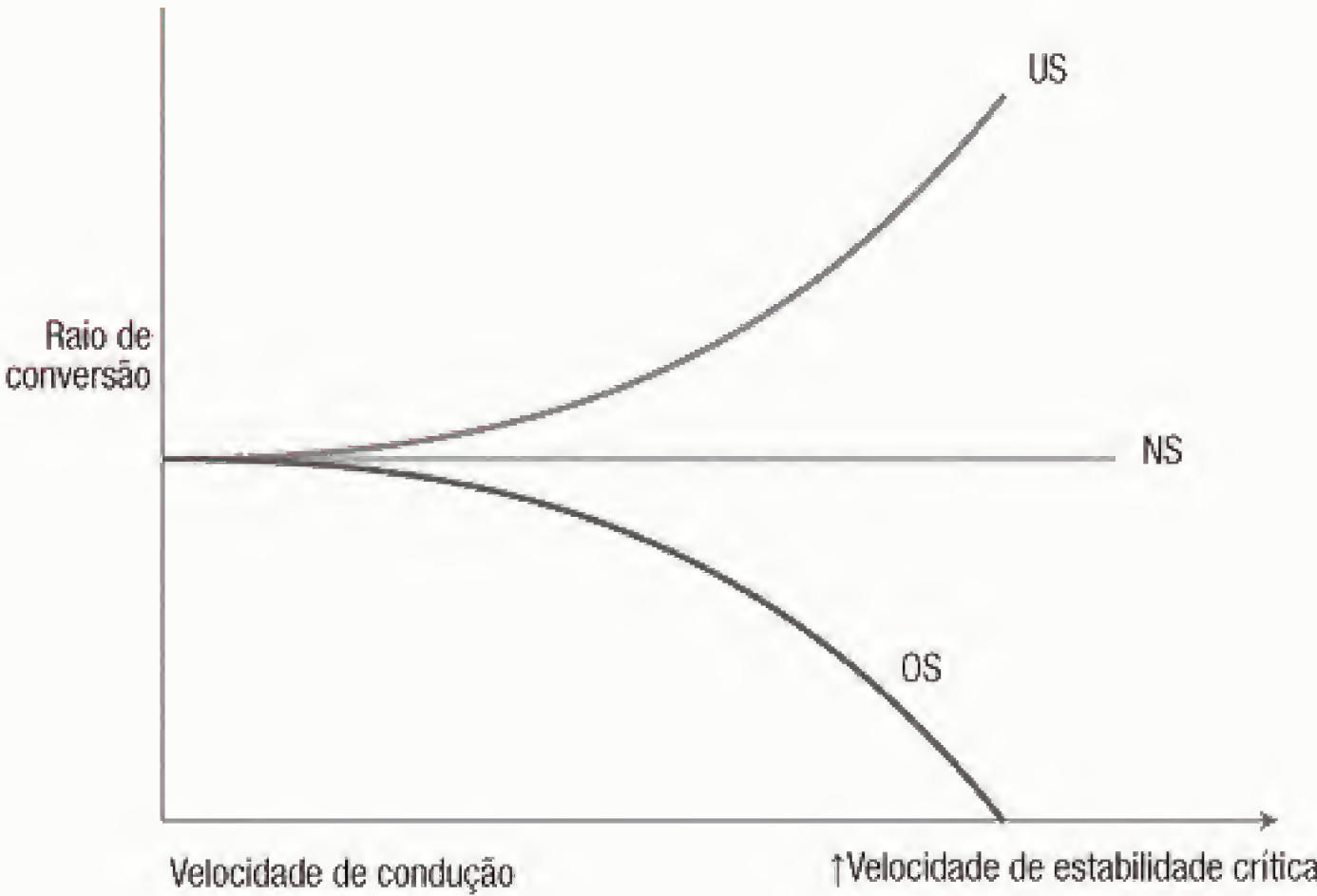


Gráfico 2-2-1 Características de viragem

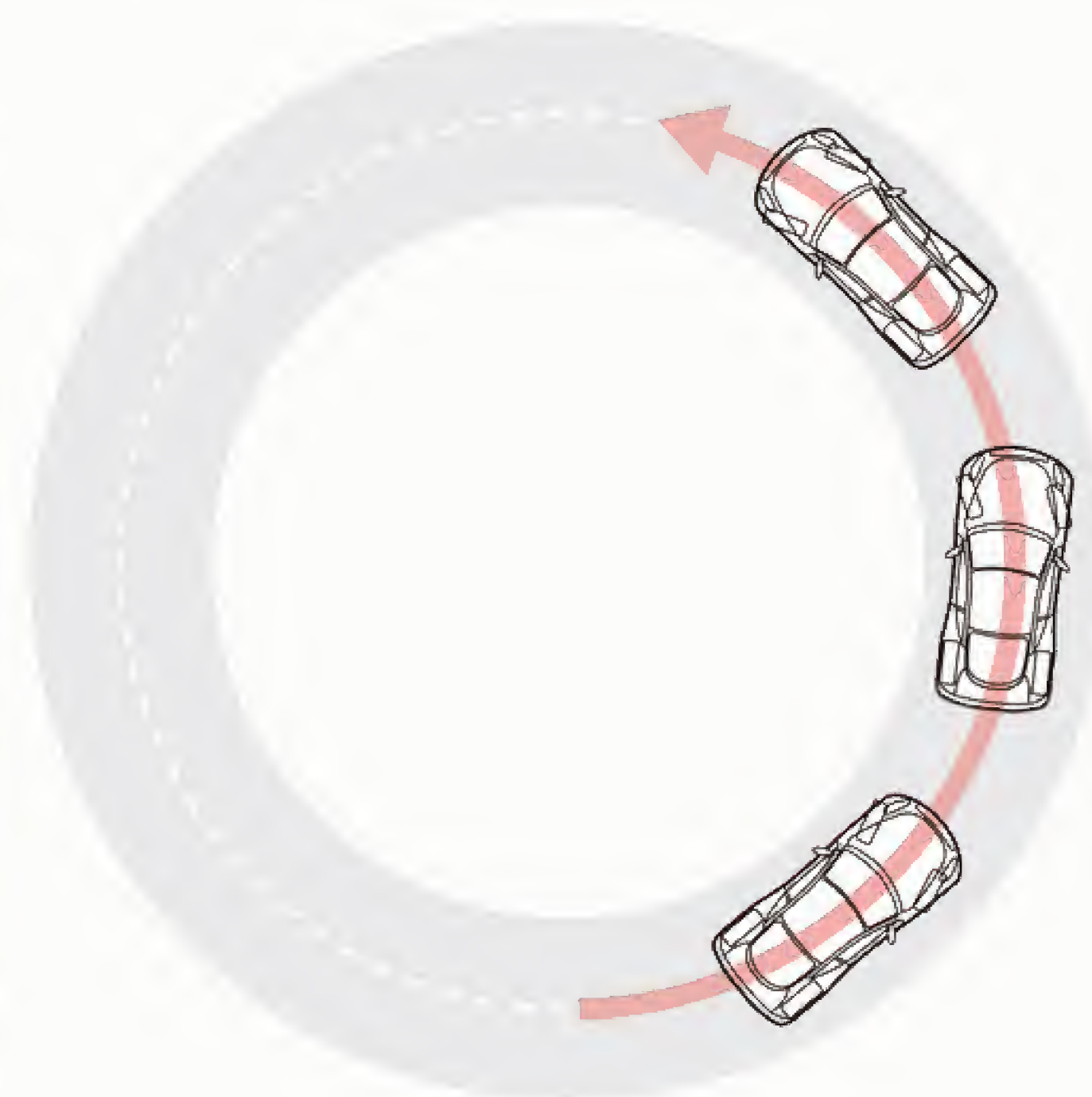
| | US | NS | OS |
|------------------------------------|--|--|--|
| M : Momento para virar o carro | M roda dianteira < M roda traseira | M roda dianteira = M roda traseira | M roda dianteira > M roda traseira |
| β : Ângulo de deslizamento : | β roda dianteira > β roda traseira | β roda dianteira = β roda traseira | β roda dianteira < β roda traseira |

Relação das características de viragem e o ângulo de deslizamento

Há uma conexão interessante entre o ângulo de deslizamento dianteiro/traseiro (β roda dianteira, β roda traseira) e características de viragem. Consulte o diagrama 2-2-3. Na condução circular de estado estacionário, se o ângulo de deslizamento dianteiro e traseiro for β roda

dianteira $> \beta$ roda traseira, haverá subviragem; se β roda dianteira $= \beta$ roda traseira, a viragem será neutra, e se β roda dianteira $< \beta$ roda traseira, haverá sobreviragem. Essa conexão é verdadeira até mesmo quando há força lateral diferente da força de curva e se a força de curva for proporcional ou não ao ângulo de deslizamento. A conexão é geometricamente fixa quando um carro está na condução circular de estado estacionário.

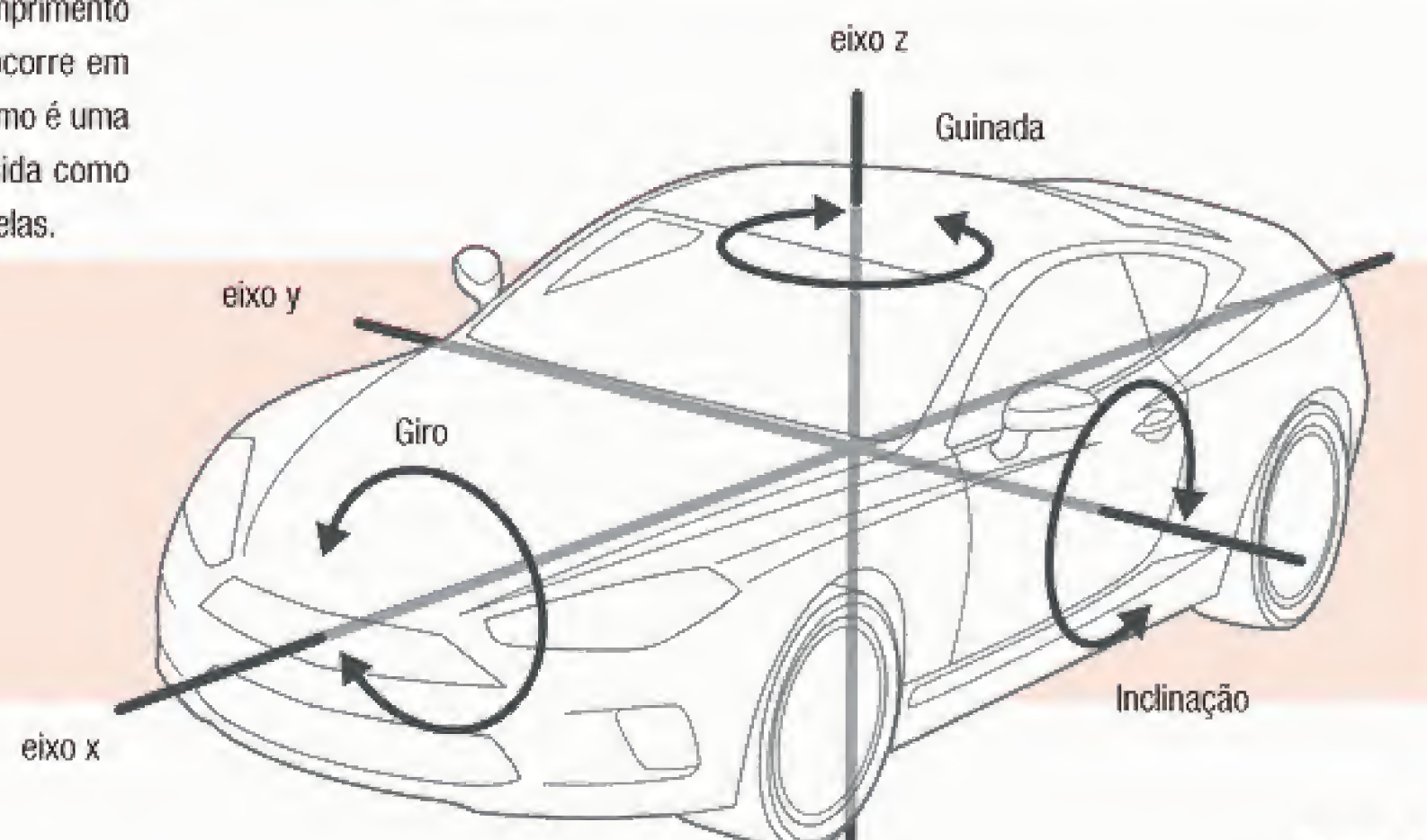
Diagrama 2-2-3 A característica de viragem muda de acordo com a diferença no ângulo de deslizamento dos pneus dianteiros e traseiros



DICAS

Ao falarmos de movimentos de curva e suspensão, a força derivada do veículo é geralmente caracterizada em três movimentos rotacionais, como mostra o diagrama 2-2-4. O primeiro é uma rotação que ocorre em direção ao centro do comprimento do veículo (eixo x), conhecida como rolagem. O segundo é uma rotação que ocorre em direção ao centro da largura do veículo (eixo y), conhecida como inclinação. O último é uma rotação que ocorre em direção ao centro da altura do veículo (eixo z), conhecida como guinada. Essas terminologias aparecerão frequentemente, seria bom lembrar-se delas.

Diagrama 2-2-4 Os três movimentos rotacionais que ocorrem em um veículo



2 A resposta de um carro às mudanças no 3 ângulo de direção

► O movimento automotivo é um fenômeno de oscilação

Mecanismo de virada

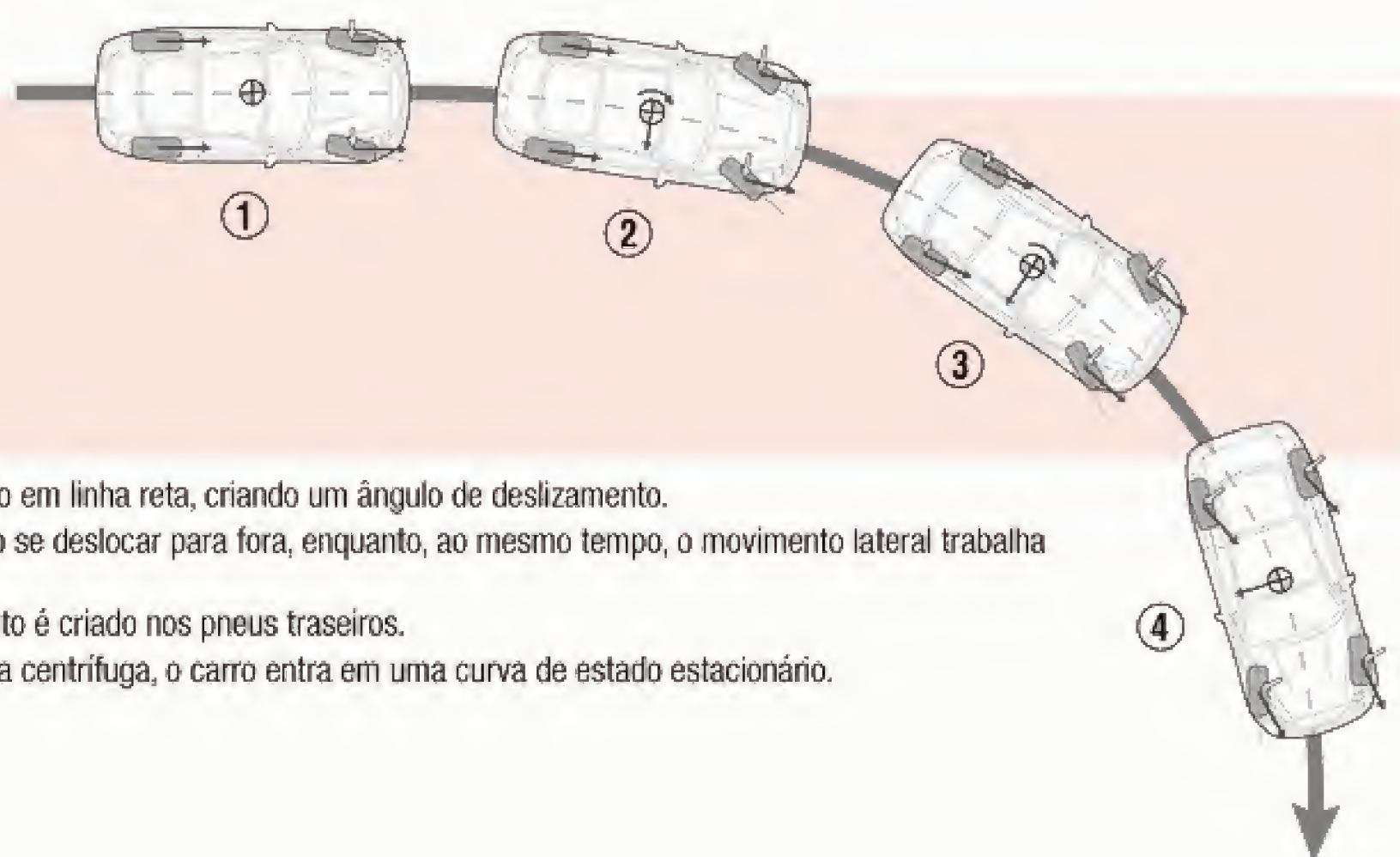
A observação de um carro em condução circular de estado estacionário revela os fundamentos do movimento veicular. Também revela como o carro responde a mudanças no ângulo de direção, que é outro tópico importante na análise do movimento veicular.

Usando o diagrama 2-3-1, vamos analisar passo a passo o mecanismo de curvas. (1) Quando a direção de um carro se deslocando em linha reta é virada, o momento inicial do carro tentará manter o veículo se deslocando em linha reta. Nesse instante, um ângulo de deslizamento é criado entre a direção para a qual os pneus dianteiros estão apontando e o momento do carro se deslocando em linha reta, resultando na ocorrência da força de curva. Como a força de curva

ocorre com a deformação do pneu, existe um ligeiro atraso de tempo. (2) A ocorrência da fora de curva inicia o movimento (rotacional) de guinada, porém, nesse momento, os pneus traseiros continuarão a se deslocar em linha reta devido ao momento de inércia inicial. (3) Depois de um pequeno período de tempo, um ângulo de deslizamento é criado nos pneus traseiros também, resultando na criação da força de curva. (4) Quando as forças de curva dianteira e traseira se estabilizam, a taxa de guinada (velocidade de guinada) se torna definida e o carro se encontrará em uma curva estável.

É importante entender que o movimento de guinada não ocorre simultaneamente com o movimento de viragem. Existe uma pequena diferença de fase devido à relação entre o momento de inércia do carro e a ocorrência da força de curva dos pneus.

Diagrama 2-3-1 Mecanismo de virada



- 1) Quando um carro está se deslocando em linha reta, a inércia tenta mantê-lo em linha reta, criando um ângulo de deslizamento.
- 2) O movimento (rotacional) de guinada começa, e os pneus traseiros tentarão se deslocar para fora, enquanto, ao mesmo tempo, o movimento lateral trabalha para dentro, mantendo o carro em seu momento de linha reta.
- 3) À medida que o movimento de guinada aumenta, um ângulo de deslizamento é criado nos pneus traseiros.
- 4) Quando as forças de curva da dianteira e traseira se equilibram com a força centrífuga, o carro entra em uma curva de estado estacionário.

Características de viragem e resposta do carro

A resposta do carro ao movimento de viragem do piloto depende das características de direção e da velocidade do carro. O diagrama 2-3-2 ilustra como o carro responde a uma ação de direção pulsada (virada súbita e de volta). Um carro com subviragem, quando dirigido acima de certa velocidade, se tornará inicialmente instável e depois gradualmente entrará em estado regular. Um carro com viragem neutra

não ficará estável, mas se acomodará em um estado regular imediatamente. Enquanto isso, um carro com sobreviragem, se dirigido acima de uma velocidade de estabilidade crítica, imediatamente começará a girar. Essas diferentes reações foram resumidas no gráfico 2-3-1.

Carros com subviragem ou viragem neutra vão acabar ficando estáveis, porém, um carro com sobreviragem perderá a estabilidade se e quando alcançar velocidades acima da velocidade de estabilidade crítica.

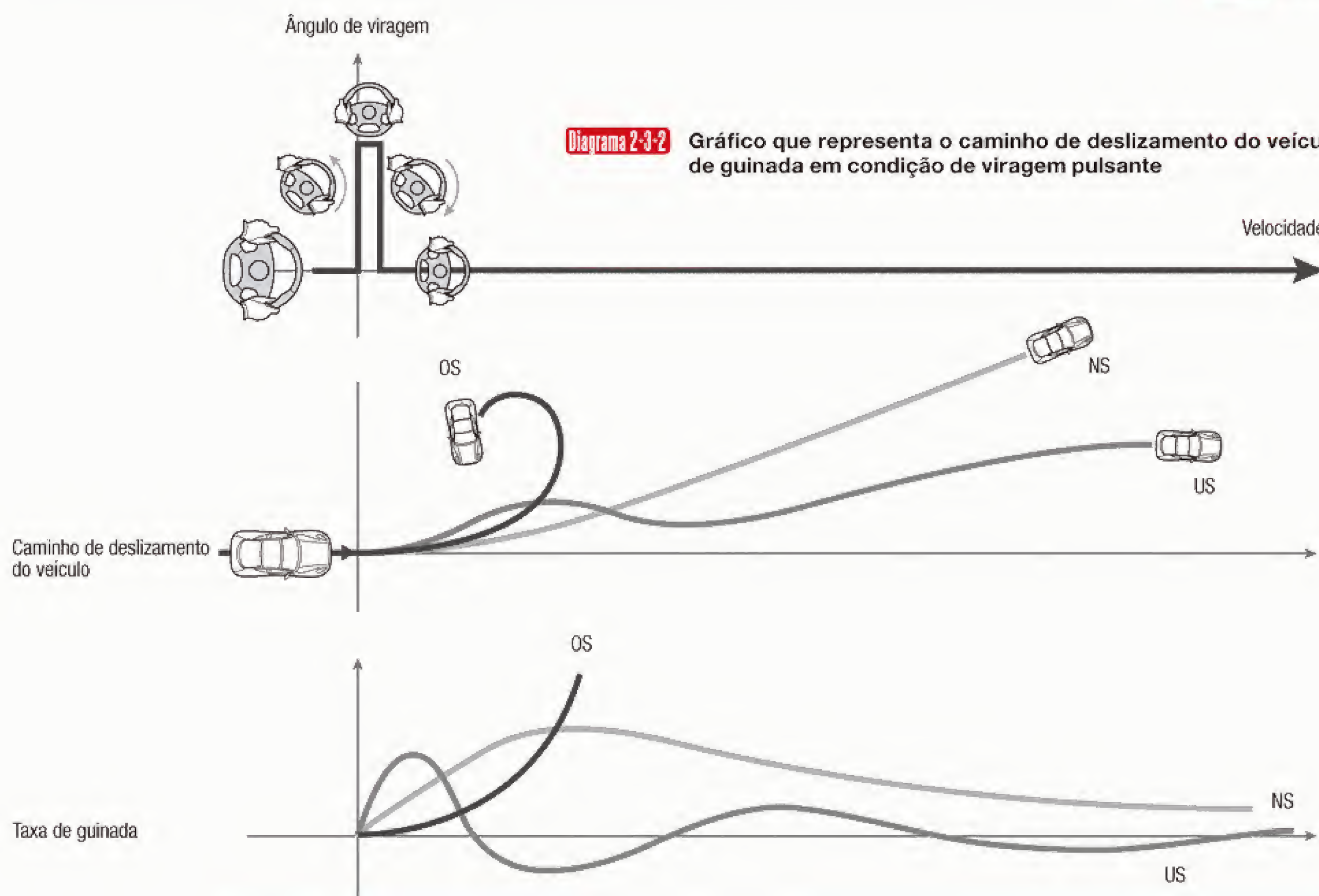


Diagrama 2-3-2 Gráfico que representa o caminho de deslizamento do veículo e a taxa de guinada em condição de viragem pulsante

Gráfico 2-3-1



O resumo de resposta de carros com diferentes características de viragem: subviragem (US), viragem neutra (NS) e sobreviragem (OS). Um carro com sobreviragem girará, excedendo a velocidade de estabilidade crítica

■ Aplicação da teoria de oscilação ao movimento do veículo

Lembre-se da diferença de oscilação associada à taxa de amortecimento, como explicado na seção 1-5. Nessa seção, confirmamos que o subamortecimento ocorre quando a taxa de amortecimento é menor que 1, o que significa que a resposta da vibração se torna oscilatória. Se a taxa de amortecimento for maior que 1, no estado de sobreamortecimento, a resposta de vibração é amortecida sem oscilação. Quando a taxa de amortecimento é igual a 1, confirmamos que está em um estado de amortecimento crítico. Aqui percebemos que o comportamento dos componentes oscilatórios compostos por massa, mola e amortecedor se assemelham ao de um carro inteiro.

Os componentes oscilatórios de massa, mola e amortecedor, e a dinâmica do carro podem ser compreendidos com o uso de determinados conceitos

abstratos, como a taxa de amortecimento e a frequência de ressonância (ou frequência natural). Pode-se observar que não há diferença e ambos podem ser considerados sistemas oscilatórios. Ou seja, o movimento do veículo é um tipo de fenômeno oscilatório.

Como exemplo, observe o diagrama 2-3-2. O amortecimento de guinada de um carro com subviragem tem uma taxa de amortecimento menor que 1, portanto, a resposta é oscilatória. O amortecimento de guinada de um carro com sobreviragem tem uma taxa de amortecimento de mais de 1, portanto, a resposta é não oscilatória. O amortecimento de guinada de um carro com viragem neutra está em um estado de amortecimento crítico com a taxa de amortecimento de 1, e a resposta se torna não oscilatória. (O amortecimento de guinada se refere ao efeito do movimento de guinada de amortecimento.)

2 A resposta do veículo ao movimento de viragem periódico

4

► Introdução à característica do veículo a partir do diagrama de Bode

■ Características de viragem e resposta à viragem periódica

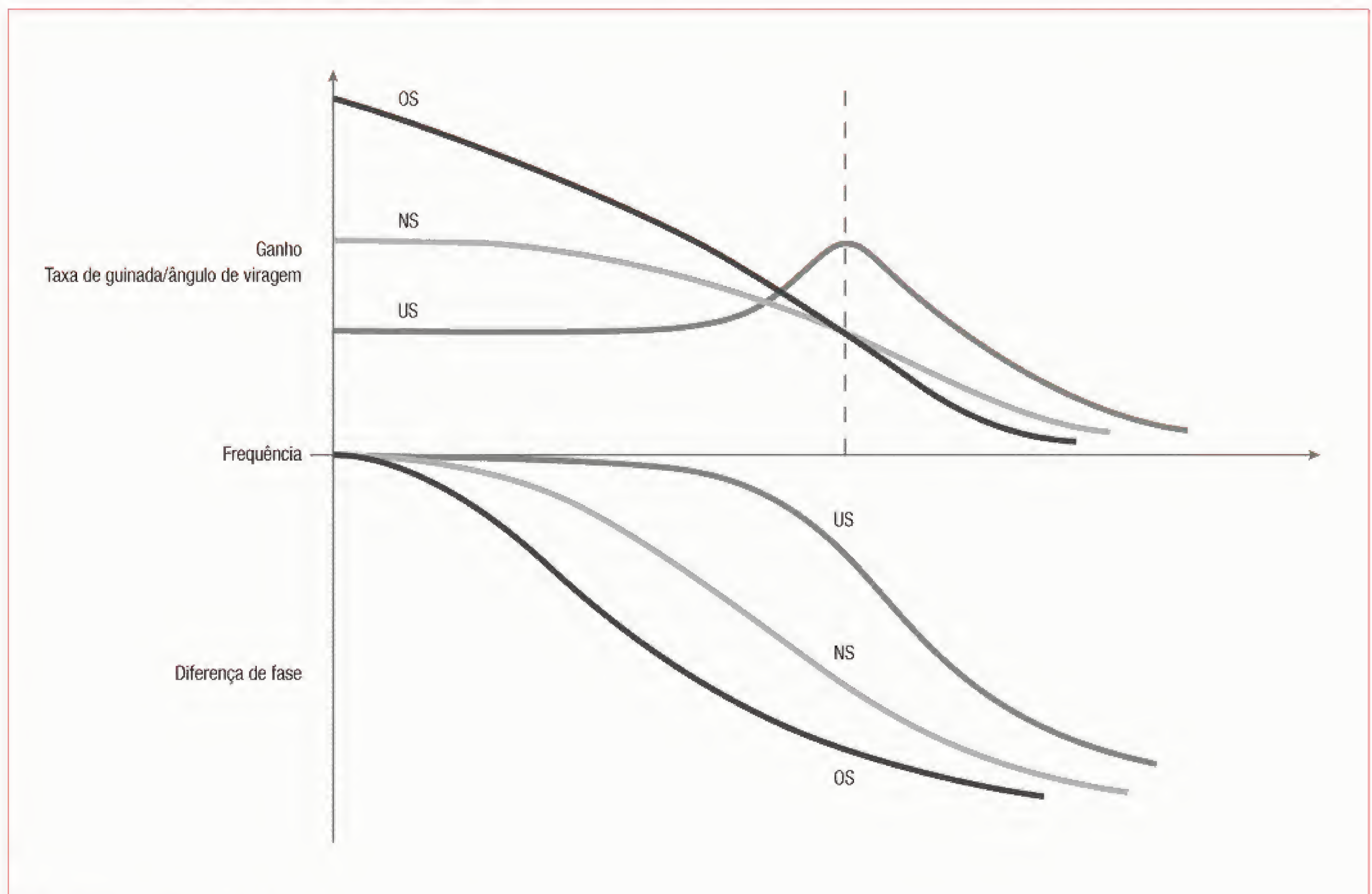
Na última seção, explicamos que o movimento do veículo é considerado um fenómeno oscilatório. Aqui exploramos como as características de viragem afetam as características gerais do veículo estudando a resposta do veículo à teoria da oscilação. Observaremos como um carro deslocando-se em velocidade estável responde a um movimento com viragem periódica de giro do volante e, em seguida, retorna à posição (reta) neutra. Deveremos também alterar a velocidade de direção (frequência de viragem) para essa observação.

Lembre-se do diagrama de Bode explicado na seção 1-6. O diagrama 2-4-1 é um diagrama de Bode que ilustra a frequência de resposta da taxa de guinada em relação à viragem periódica. Quando a frequência de viragem é extremamente lenta (quando o volante é virado bem

lentamente), o ganho (relação de amplitude) se assemelha basicamente à taxa de guinada da sobreviragem, viragem neutra e subviragem na condução circular de estado estacionário. Quando a frequência de viragem aumenta, a relação de amplitude para carros em subviragem aumentará com um pico em uma determinada frequência e o ganho aumenta. Para carros com viragem neutra e sobreviragem, não existe pico, e o ganho (relação da amplitude) continua a cair à medida que a frequência de viragem aumenta.

Observando o gráfico da linha de fase, o atraso na fase fica maior à medida que a frequência de viragem aumenta para todos os tipos de características de viragem. Porém, o atraso na fase é mínimo com carros em subviragem. Isso significa que um carro com característica de subviragem tem a resposta mais rápida ao movimento de viragem.

Diagrama 2-4-1 Diagrama conceitual que mostra a resposta da taxa de guinada em relação à manobra de viragem periódica para carros com características de viragem diferentes

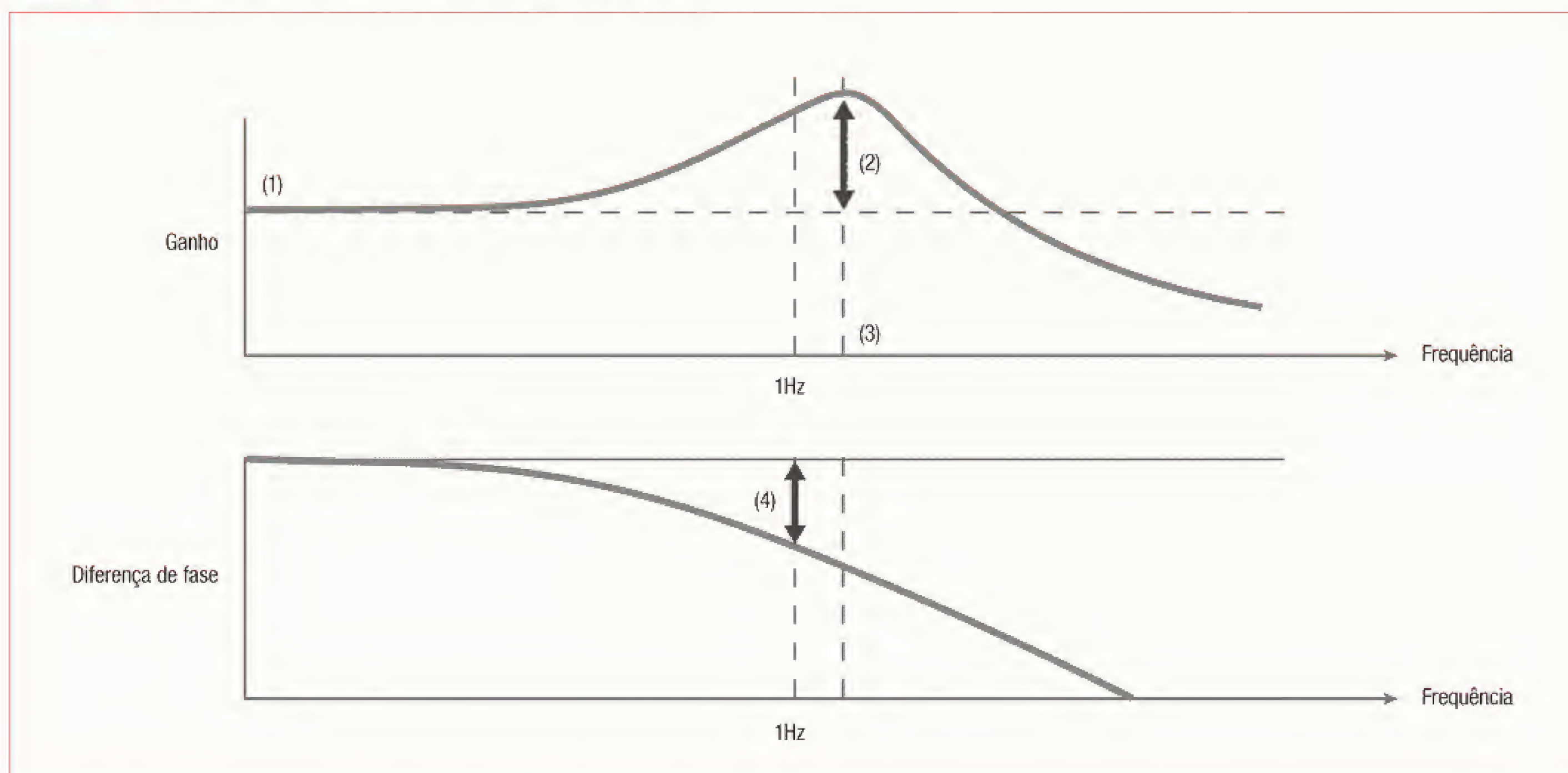


■ Quatro pontos a serem observados do diagrama de Bode

Deixe-nos explicar como o diagrama de Bode pode ser implementado para uso prático. Há vários pontos a serem observados no diagrama de Bode. Observe a resposta de frequência da taxa de guinada. O primeiro ponto a ser notado é o ganho em frequência muito baixa (veja (1) no diagrama 2-4-2). Este valor é basicamente igual ao valor na condução circular em estado estacionário. O segundo ponto a se observar é a altura do pico de ganho (veja (2) no diagrama 2-4-2). Carros com subviragem forte têm maior ressonância devido à diminuição no amortecimento de guinada, assim, o

pico de ganho se torna maior. Porém, não há picos de ganho para carros com viragem neutral e sobreviragem. Para obter a característica de viragem ideal, deve-se assegurar um pico de ressonância moderado. O terceiro ponto a se observar é a frequência de ressonância (veja (3) no diagrama 2-4-2). Quanto maior a frequência de ressonância, mais rápida a resposta, o que significa que o piloto pode obter resposta mais precisa do volante. O quarto ponto a se observar é o atraso na fase (veja (4) no diagrama 2-4-2). Se o atraso na fase for grande, a geração da taxa de guinada se tornará mais lenta. Minimizar o atraso na fase, portanto, é a melhor forma de se obter uma resposta de direção mais rápida.

Diagrama 2-4-2 Quatro pontos a se observar no diagrama de Bode



2 Rolagem da carroceria e movimento do veículo

5 ► Utilização da rolagem da carroceria para ajustar a característica de viragem

A carroceria do carro rola para fora durante a curva. Até este momento, omitimos intencionalmente os efeitos da rolagem da carroceria para simplificar nossa discussão. No entanto, o movimento do veículo é fortemente influenciado

pela rolagem da carroceria. Vamos examinar os efeitos da rolagem da carroceria em relação ao desempenho geral do veículo.

■ Efeitos da rolagem da carroceria sobre a característica de viragem

A partir do diagrama 2-5-2, podemos observar que, mesmo que se dobre a carga, a força de curva não se multiplica na mesma quantidade. Isso se dá porque há um retorno em redução da força de curva à medida que aumenta, acompanhando uma curva de saturação em um gráfico. Quando o carro está fazendo uma curva, o peso é transferido

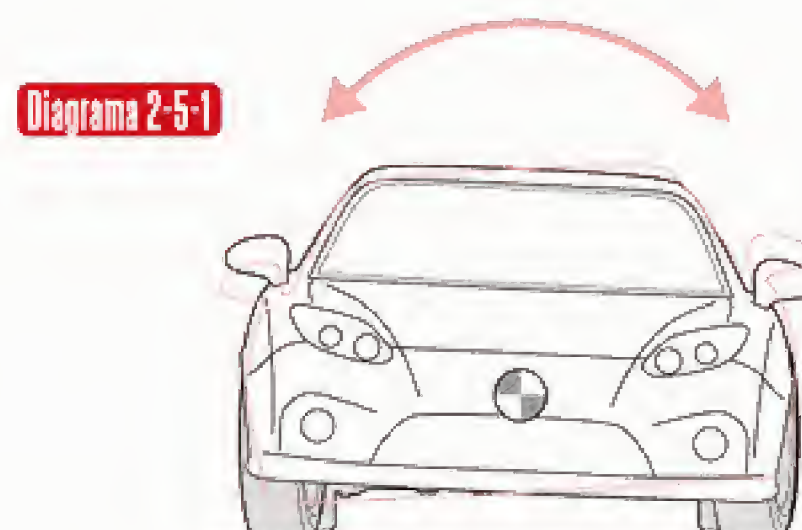


Diagrama 2-5-1

da roda interna para a roda externa. A soma da força de curva das rodas interna e externa fica menor quando a transferência de peso é considerada em comparação com a soma sem a transferência de peso. Ou seja, quanto maior for o peso transferido, menor será a força de curva.

Diagrama 2-5-2 Relação entre a carga do pneu e a potência de curva. A carga e a potência de curva não estão relacionadas proporcionalmente, mesmo que a carga seja dobrada, a potência de curva não dobra

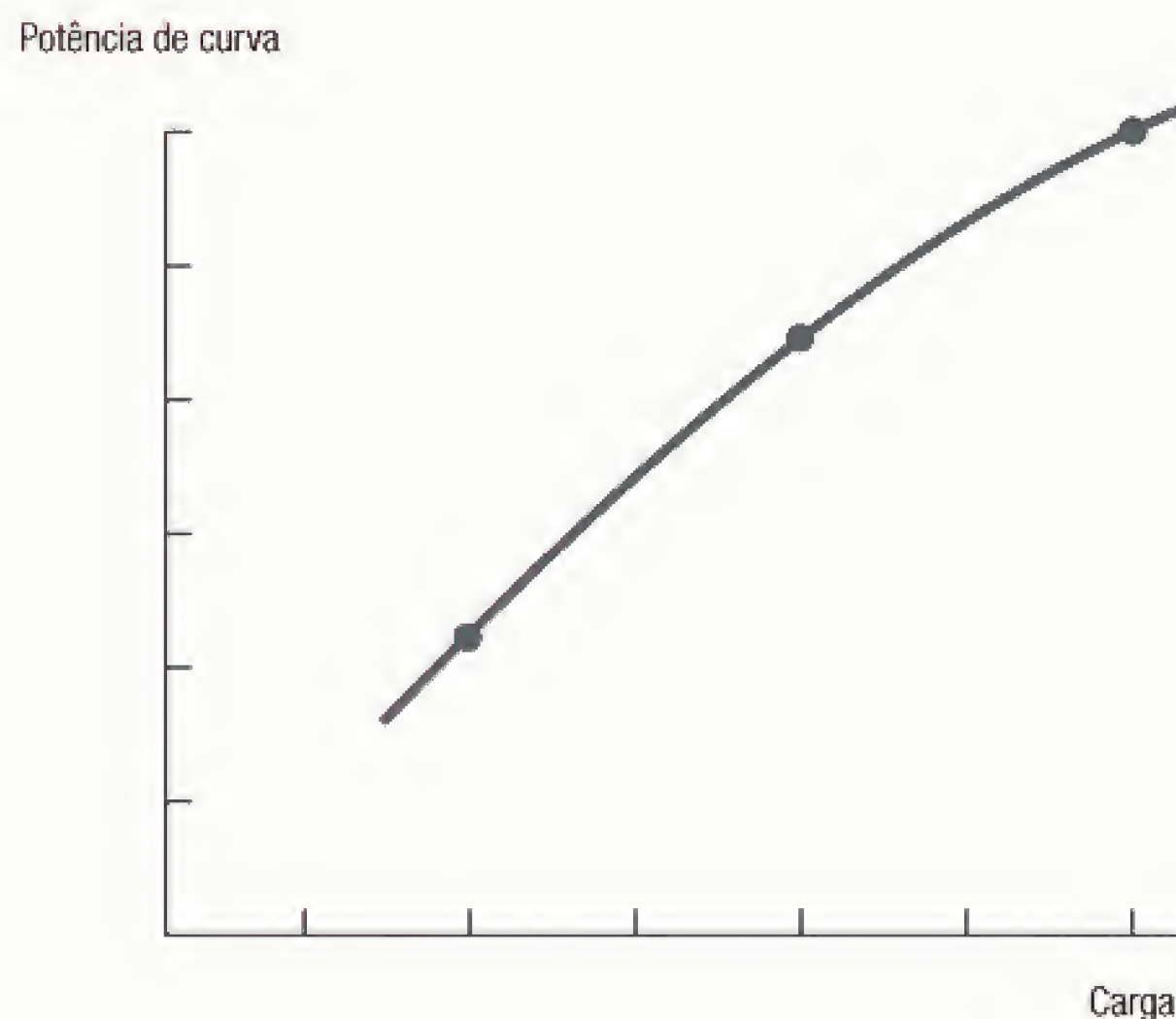
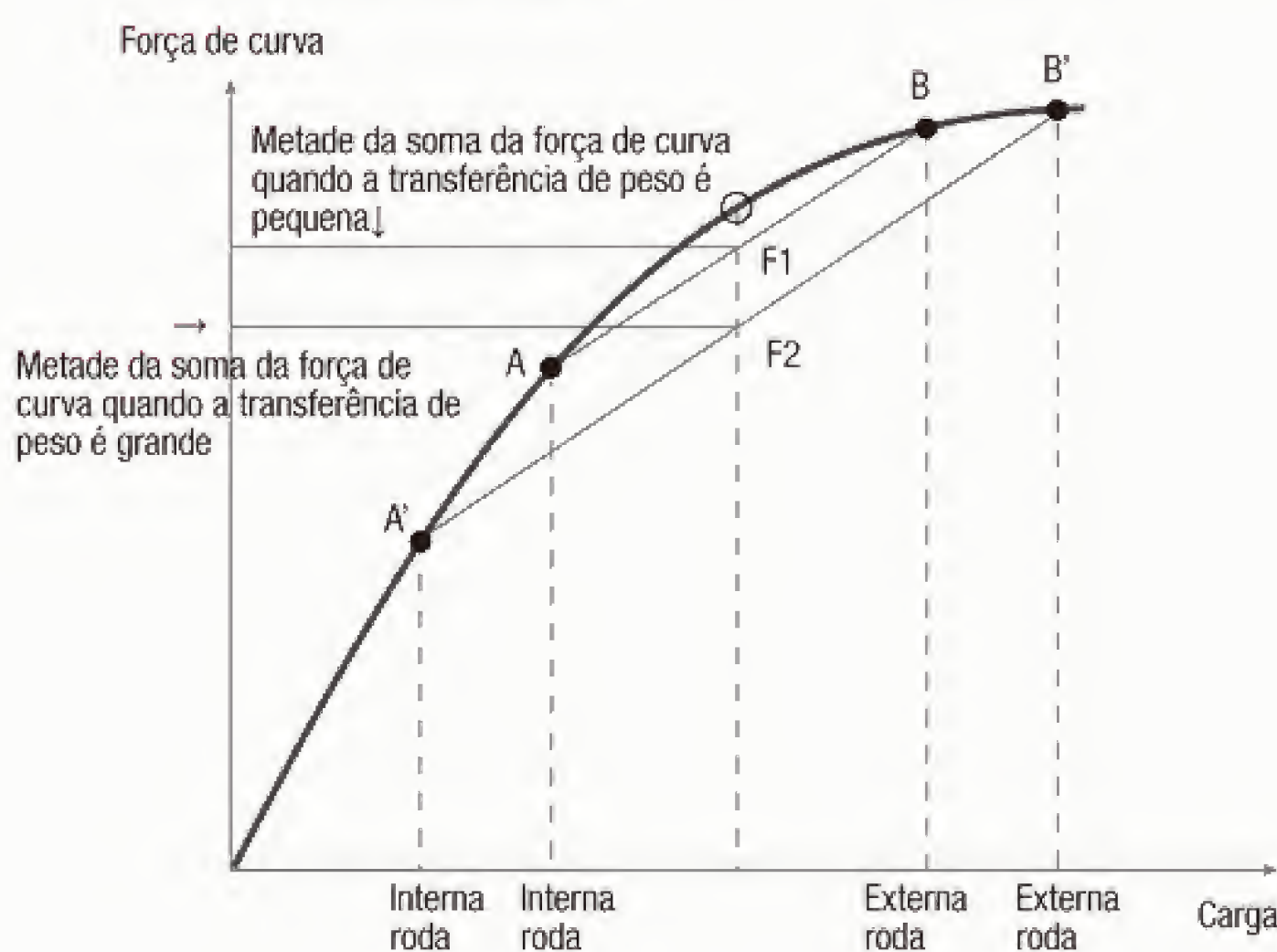


Diagrama 2-5-3 Comparação entre um carro com grande quantidade de transferência de peso e um carro com uma transferência menor. Em um carro com uma quantidade menor de transferência de peso, a força de curva F_1 é $1/2$ da soma da roda interna A e da roda externa B. Para um carro com uma quantidade maior de transferência de peso, a força de curva F_2 é $1/2$ da soma de A e B. Um carro com menor transferência de peso tem uma força de curva total maior



■ **Características de viragem quando a transferência de carga é diferente entre a dianteira e a traseira**

Já que a ocorrência de força de curva nos pneus muda em relação à carga vertical levando à saturação, se a transferência de peso pela rolagem da carroceria for diferente entre os pneus dianteiros e traseiros, a característica de viragem será diferente. Caso a transferência de peso nas rodas dianteiras > transferência de peso nas rodas traseiras, o carro apresentará subviragem. Caso a transferência de peso nas rodas dianteiras < transferência de peso nas rodas traseiras, o carro apresentará sobreviragem.

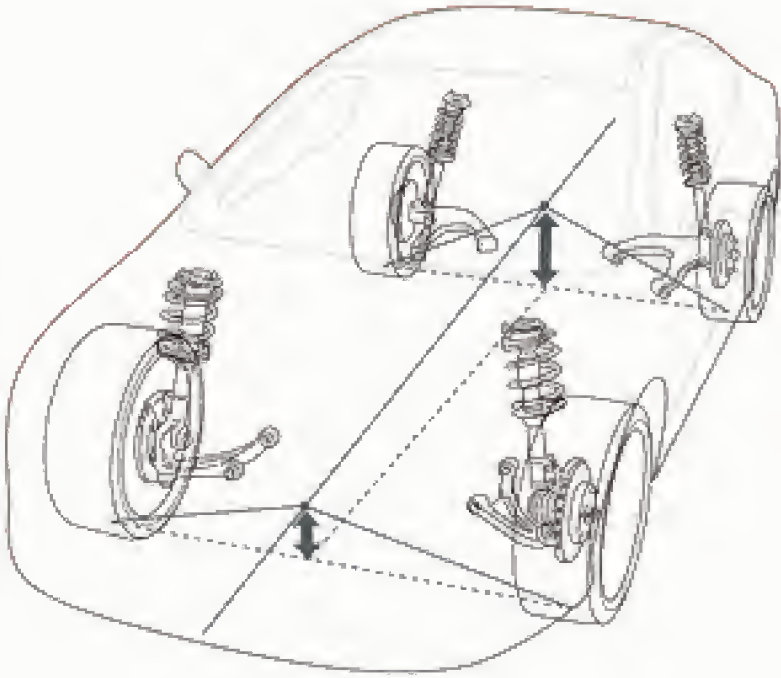
A quantidade de transferência de peso entre a direita e a esquerda é definida pelo equilíbrio do efeito da força

externa relacionada à rolagem da estrutura, assim como pelo o efeito da rigidez da rolagem reativa do carro. Essa relação é determinada, sobretudo, por uma altura do centro de rolagem dianteira e traseira, proporção de rigidez de rolagem e largura da banda. Sem entrar em muitos detalhes, a altura do centro de rolagem está relacionada ao momento criado a partir da força lateral do pneu, a proporção de rigidez da rolagem está relacionada à distribuição de momento dianteira e traseira da força externa, e a banda está relacionada ao momento criado com a transferência de peso. A quantidade de transferência de peso é determinada por essas relações, ajudando a esclarecer os efeitos da rolagem da carroceria na característica de viragem, como resumido no gráfico 2-5-1.

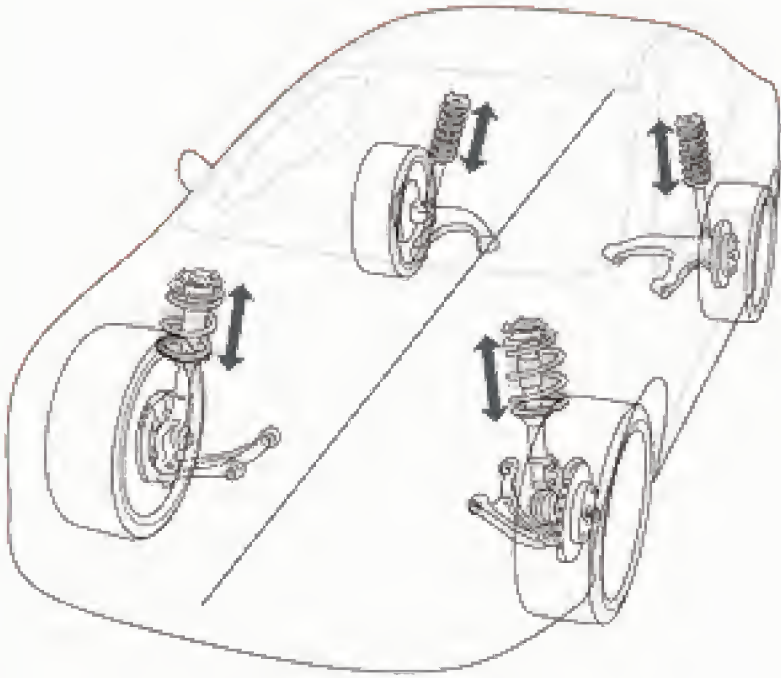
Gráfico 2-5-1 Mudança nas características de viragem e ajuste da suspensão

| | US | OS |
|------------------------------------|---------|---------|
| Centro de rolagem - roda dianteira | Alta | Baixa |
| Centro de rolagem - roda traseira | Baixa | Alta |
| Proporção de rigidez da rolagem | Grande | Pequena |
| Banda de rodagem - dianteira | Pequena | Grande |
| Banda de rodagem - traseira | Grande | Pequena |

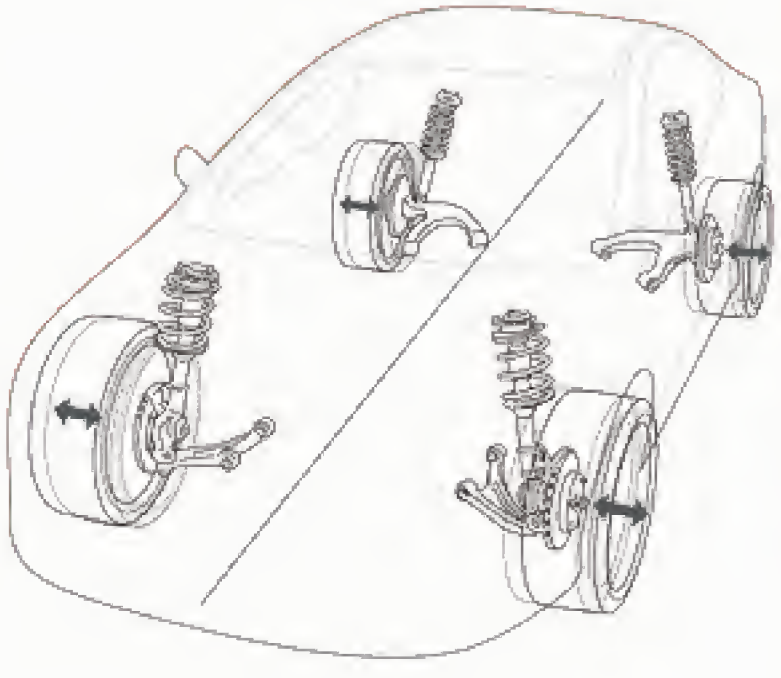
Diagrama 2-5-4



A subviragem torna-se mais forte com o aumento da altura do centro de rolagem das rodas dianteiras ou a diminuição do centro de rolagem das rodas traseiras



A sobreviragem torna-se mais forte aumentando a proporção de rigidez da rolagem dos pneus dianteiros



A subviragem se torna mais forte com a redução da banda da roda dianteira ou o aumento da banda da roda traseira

2 Vibração da massa suspensa e da massa não suspensa

6

► Uma teoria que não deve ser ignorada no ajuste da suspensão

A vibração vertical tem um impacto direto no conforto de viagem de um carro e na capacidade de aderência à estrada do pneu. A vibração forte pode tornar a viagem intolerável e pode até mesmo atrapalhar a capacidade de aderência à estrada do pneu ao ponto de perda de tração. Para evitar isso,

a mola e os amortecedores da suspensão devem ser ajustados cuidadosamente. Esta seção apresenta uma introdução aos fundamentos da vibração vertical, um tema fundamental para o ajuste adequado da suspensão.

Modo da vibração

Massa suspensa se refere à massa total sustentada pela suspensão, enquanto que a massa não suspensa é a massa total entre a suspensão e os pneus. Aqui, nos concentraremos na vibração de trepidação e inclinação da massa suspensa, assim como a vibração vertical da massa não suspensa.

O diagrama 2-6-1 é uma ilustração simplificada da vibração com as rodas dianteiras e traseiras sustentando todo o carro. Nesse modelo, a direção do deslocamento para a massa suspensa é para cima ou para baixo (total de duas direções). A direção do deslocamento para a massa não suspensa também é para cima e para baixo (total de duas direções). Portanto, há quatro direções de deslocamento, quatro graus de liberdade, o que significa que existem quatro frequências naturais. A ressonância primária é a ressonância de trepidação, que é a vibração que ocorre na massa suspensa dianteira e traseira (a dianteira e a traseira se estendem e contraem simultaneamente). A ressonância secundária é a ressonância de inclinação, na qual a massa suspensa dianteira e traseira vibra em direção opostas (quando a dianteira se estende, a traseira se contrai, quando a dianteira se contrai, a traseira se estende). As ressonâncias terciária e quaternária ocorrem na massa não suspensa.

Diagrama 2-6-1 Modelo de vibração simplificado com carroceria sustentada pelas rodas dianteiras e traseiras. Há quatro direções para o deslocamento

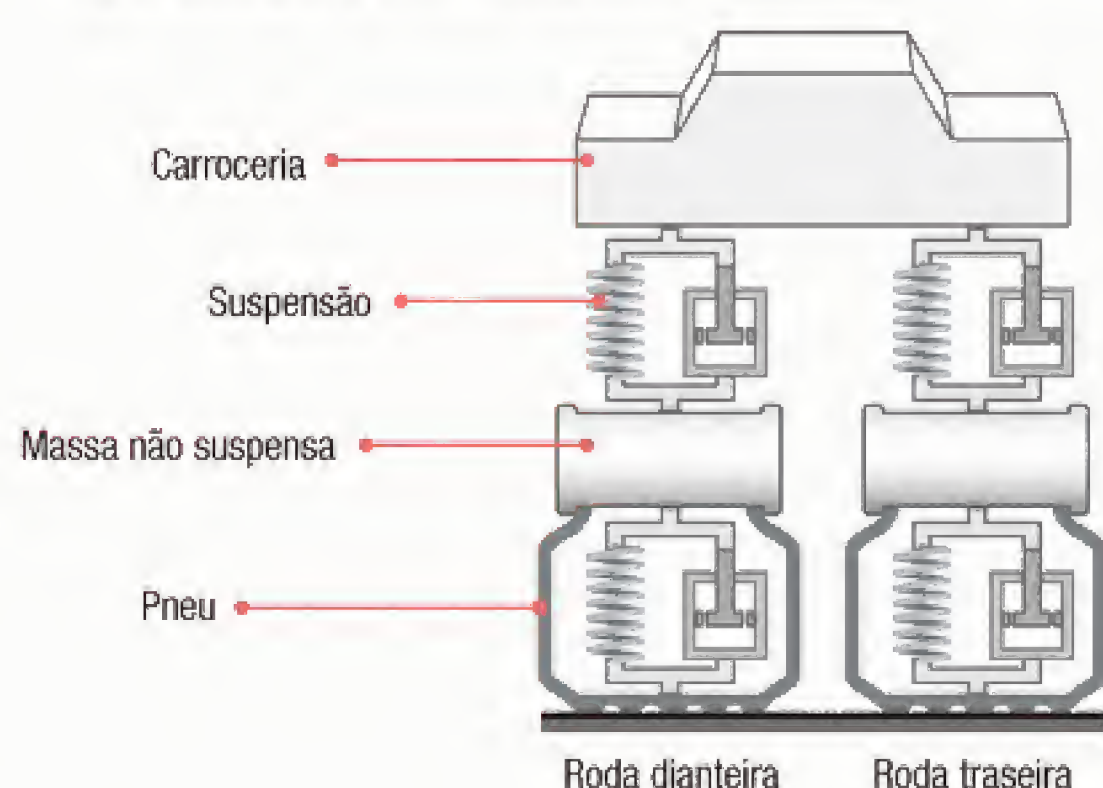
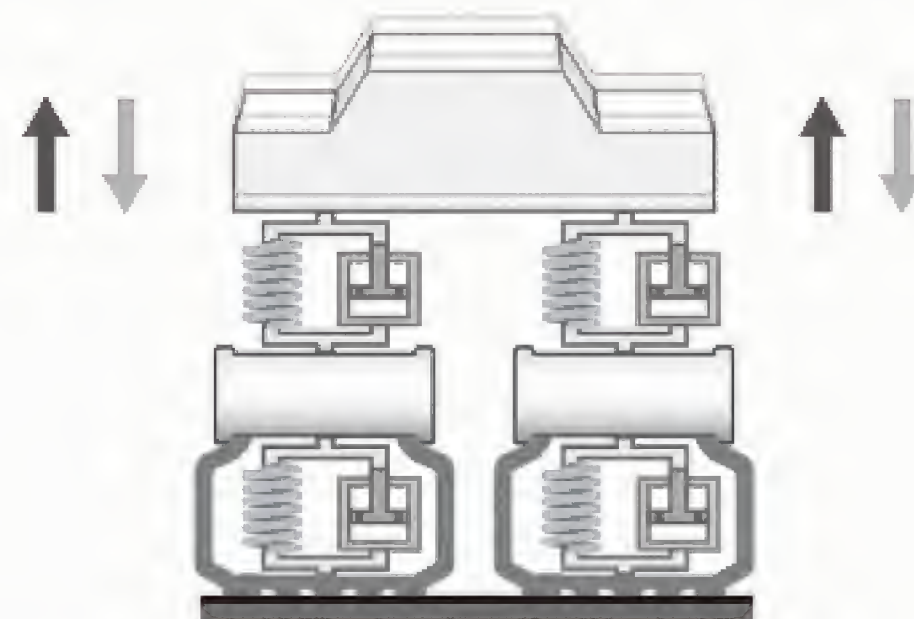
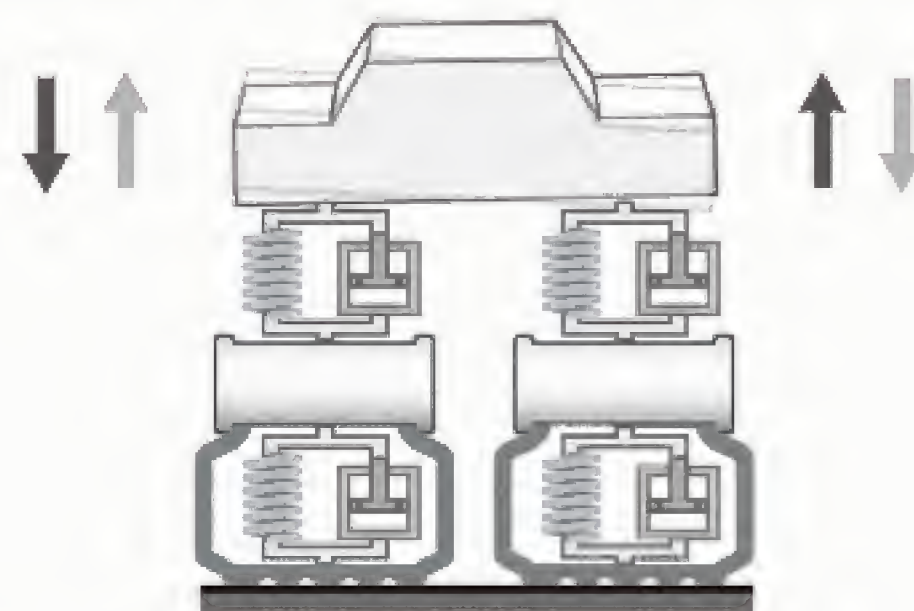


Diagrama 2-6-2 Modo de vibração

Ressonância primária: Modo de trepidação. A suspensão dianteira e traseira se estende e se contrai na mesma direção simultaneamente para fazer com que a carroceria trepide



Ressonância secundária: Modo de inclinação. A suspensão dianteira e traseira se estende e se contrai em direções opostas, induzindo o movimento de inclinação na carroceria



A ressonância terciária e quaternária: Modos de ressonância da massa não suspensa

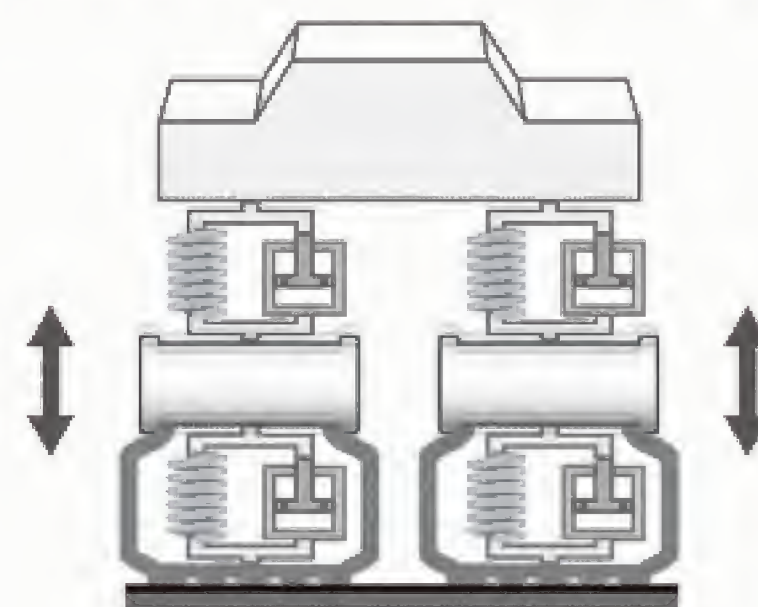


Diagrama 2-6-3

Influência do algoritmo de suspensão na vibração vertical

■ O ajuste da suspensão e seus efeitos sobre o modo de vibração

A vibração da carroceria tem impacto negativo na aderência à estrada do pneu e ao conforto geral de deslocamento e deve ser minimizada o máximo possível. A vibração da massa suspensa também afeta o desempenho aerodinâmico, especialmente em veículos de competição.

Deve-se observar que a vibração da massa suspensa e da não suspensa tem as características a seguir. Esse conhecimento é útil no ajuste da suspensão.

- 1) Aumentar a força de amortecimento ajudará a reduzir a vibração da massa suspensa ao redor da frequência de ressonância, porém, aumentará a vibração em outras áreas. (Consulte o gráfico superior do diagrama 2-6-3.)
- 2) Aumentar a força de amortecimento também aumentará a frequência de ressonância da massa suspensa. (Consulte o gráfico superior do diagrama 2-6-3.)
- 3) Alterar massa suspensa ou a taxa da mola afetará a ressonância da massa suspensa, mas terá pouca influência na ressonância da massa não suspensa. (Consulte o gráfico central do diagrama 2-6-3.)
- 4) Alterar massa não suspensa ou a rigidez longitudinal do pneu afetará a ressonância da massa não suspensa, mas terá pouca influência na vibração suspensa. (Consulte o gráfico inferior do diagrama 2-6-3.)



■ Controle de inclinação

Quando um carro é conduzido em linha reta, a informação da superfície da estrada dada à roda traseira será atrasada pelo período de tempo derivado de “eixos/velocidade

do veículo”. A definição da frequência de ressonância da massa suspensa nas rodas traseiras ligeiramente maior que nas rodas dianteiras faz com que a vibração das rodas traseiras alcance e convirja com a vibração das rodas dianteiras, ajudando a minimizar a inclinação.

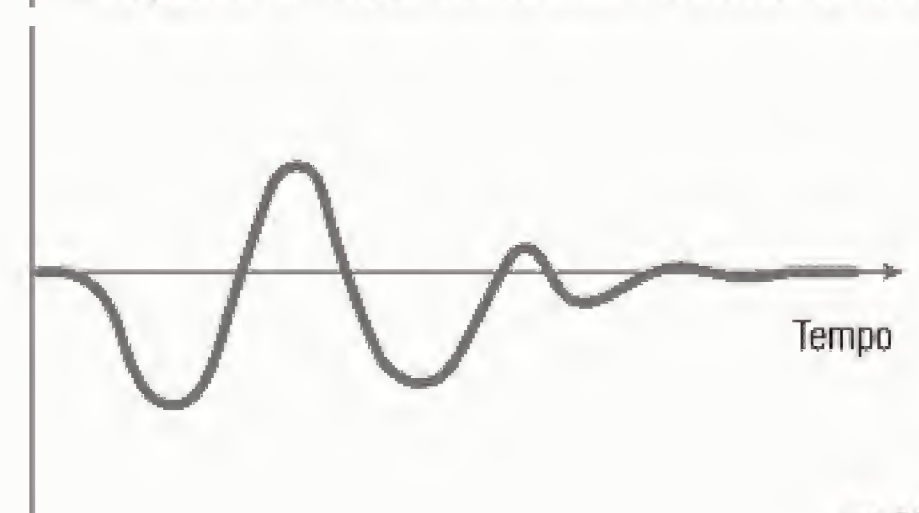
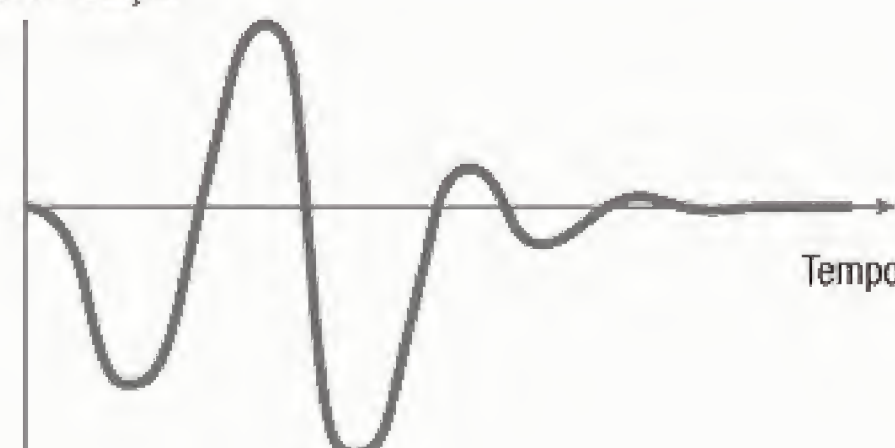
Diagrama 2-6-4

Controle do movimento de inclinação. A inclinação pode ser minimizada aumentando-se a frequência de ressonância da massa suspensa traseira

Deslocamento da suspensão



Ângulo de inclinação



2 O que constitui um carro de alto desempenho?

7 ► O desempenho do veículo fica nas rodas traseiras

■ Frequência da taxa de guinada e das características de viragem

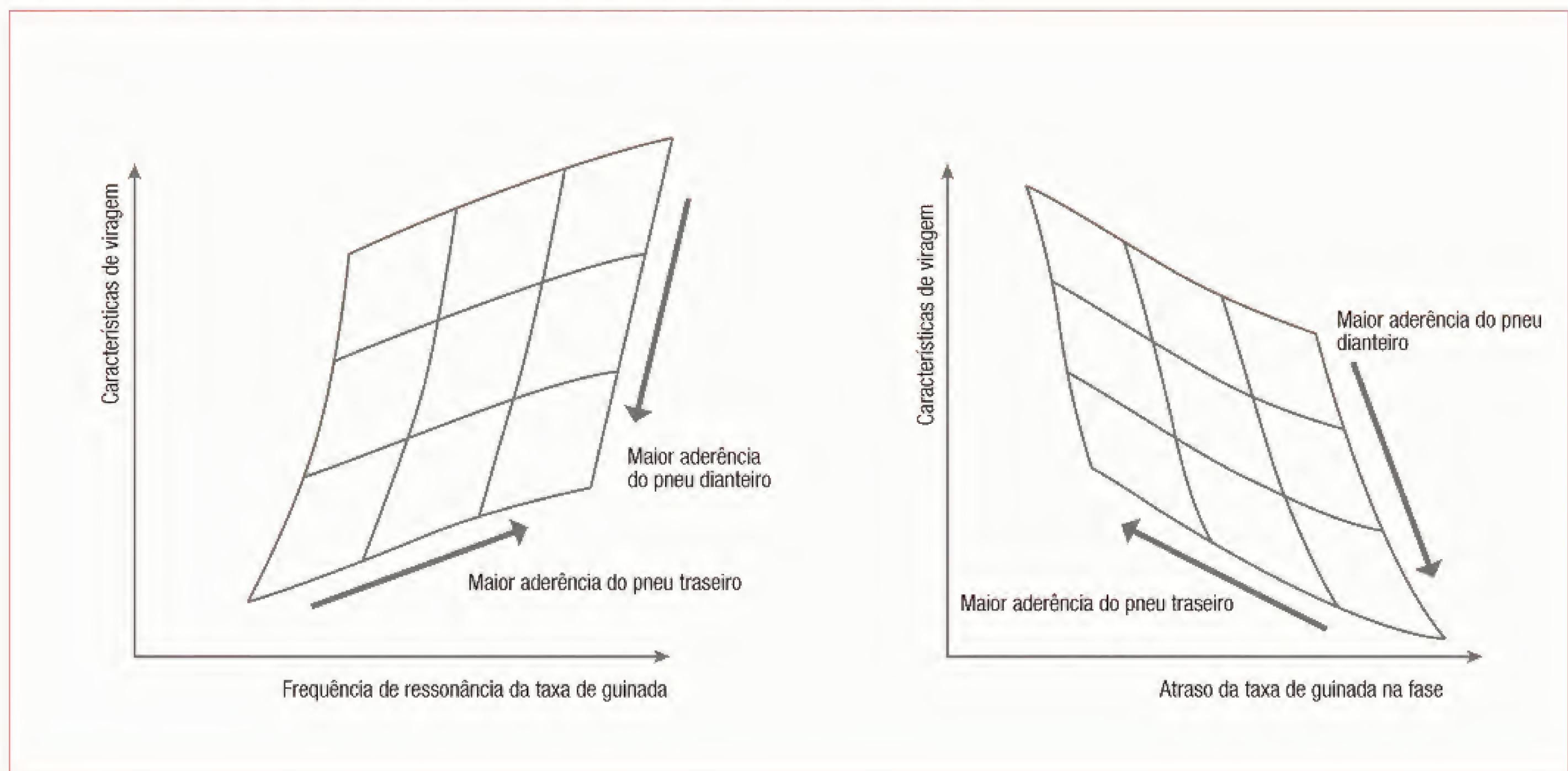
De modo geral, se a frequência de ressonância da taxa de guinada for alta, o carro deve responder rapidamente e ser considerado um veículo de alto desempenho. Aumentar a potência de curvas dos pneus traseiros ou tornar o carro mais leve são exemplos de como a frequência de ressonância da taxa de guinada pode ser aumentada.

O diagrama 2-7-1 ilustra como a aderência do pneu dianteiro e traseiro pode afetar o desempenho geral do veículo. A partir deste diagrama, você pode ver que aumentar a aderência dos pneus traseiros melhorará a subviragem e aumentará a frequência de ressonância da taxa de guinada.

E vice-versa; aumentar a aderência dos pneus dianteiros diminuirá a frequência de ressonância da taxa de guinada e resultará em sobreviragem mais forte. Inversamente, o aumento da aderência do pneu traseiro diminuirá o atraso na fase, e o aumento da aderência do pneu dianteiro aumentará o atraso na fase.

Como ilustrado anteriormente, o nível de aderência dos pneus traseiros tem um efeito significativo sobre o desempenho geral do veículo. Ao modificar o sistema de suspensão, deve-se assegurar primeiro um nível suficiente de aderência do pneu traseiro. Em seguida, o nível de aderência dos pneus dianteiros e traseiros deve ser bem equilibrado. Esses passos devem ser compreendidos, pois são fundamentais para aumentar o desempenho do veículo.

Diagrama 2-7-1 Correlação da aderência, resposta de direção e característica de viragem



DICAS Se o momento de inércia da guinada do veículo puder ser formatado para $I = mK^2$, o raio de inércia da guinada pode ser mostrado como $K = \sqrt{I/M}$. O "I" aqui representa o momento de inércia da guinada, enquanto o "m" representa a massa do veículo.

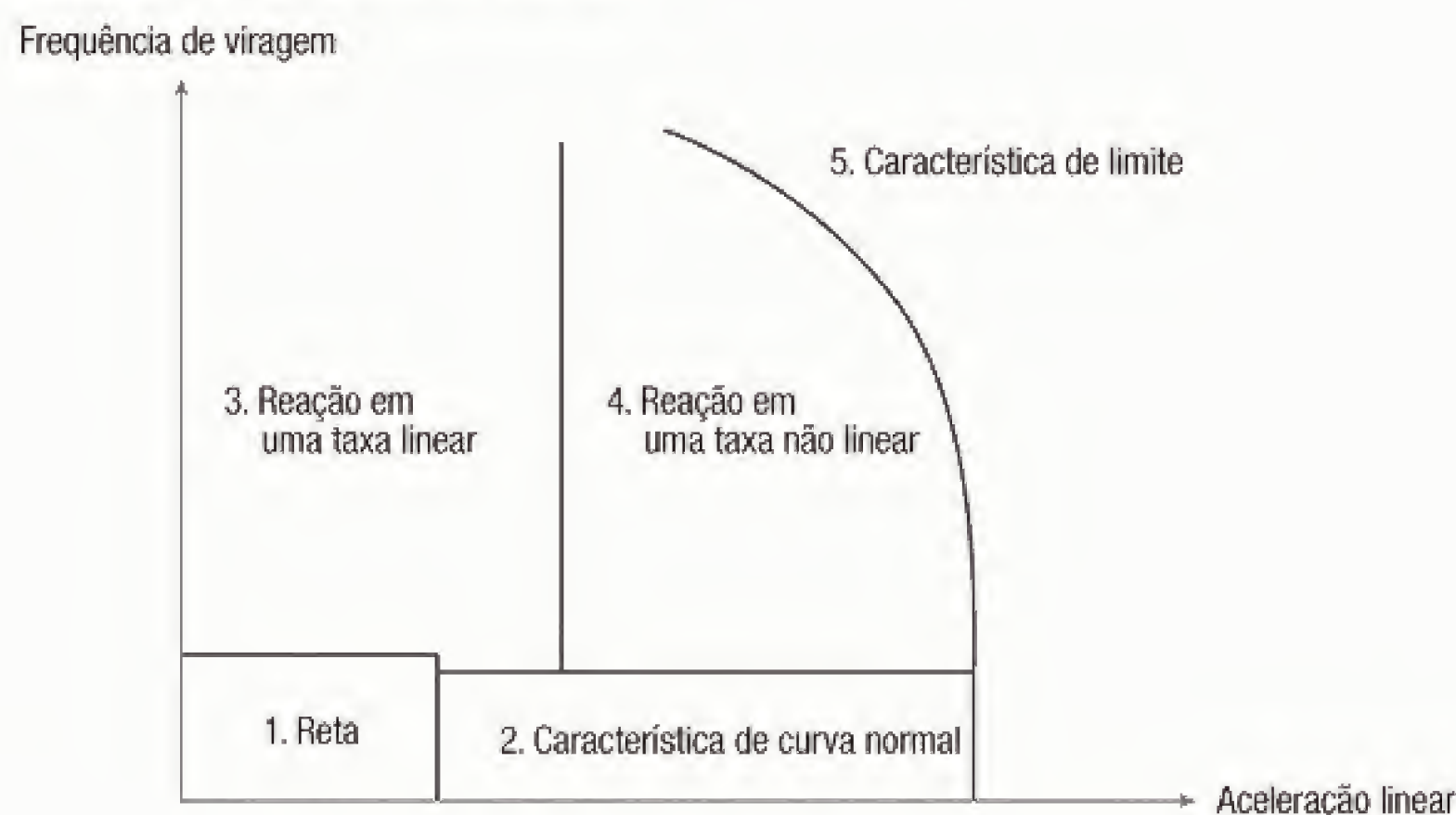
■ | Categorização da reação do veículo

A reação dos veículos é um tema complexo, mas a visualização do movimento do veículo por meio de uma equação de movimento (como explicado em 1-1) nos permite iniciar uma compreensão melhor sobre o assunto. Além disso, podemos usar os conceitos de aceleração lateral e frequência de viragem para categorizar as características de movimento de um veículo, como mostrado no diagrama 2-7-2.

Até agora, nos concentramos no exame da reação baseada nas (2) características de curva normal em uma (3) taxa linear. Neste exemplo, uma taxa linear é uma situação na qual a potência de curva é estável, independentemente da

situação de deslocamento. Por outro lado, a reação em uma (4) taxa não linear se relaciona a uma situação na qual a potência de curva se satura. Essa taxa é de especial importância para carros de corrida. No entanto, mesmo quando observamos uma taxa não linear, as características básicas de uma taxa linear se aplicam; portanto, se considerarmos adequadamente o equilíbrio entre as forças de curva e os momentos das rodas dianteira e traseira, ela poderá ser tratada como a aplicação de uma taxa linear. Além disso, é melhor deixar (5) a taxa de característica de limite o mais afastado possível do ponto de partida quanto possível.

Diagrama 2-7-2 Categoria das características de movimento do veículo

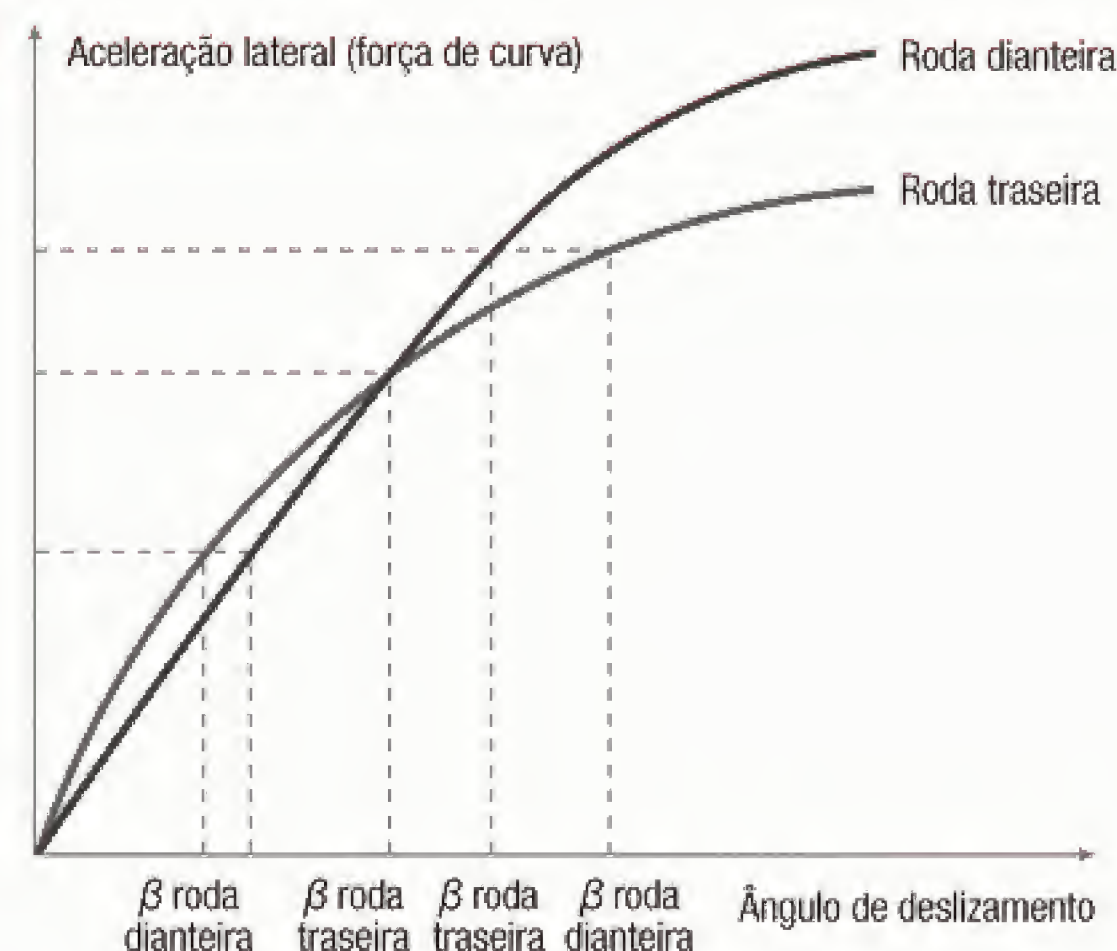


DICAS

Uma amostra padrão de um movimento de veículo de intervalo não linear é chamada de viragem inversa. Explicamos anteriormente em 1-2 que você poderia determinar a característica de viragem de acordo com o grau do ângulo de deslizamento das curvas normais do veículo. Desta vez, vamos examinar o que é a viragem inversa usando um veículo com características como as mostradas no diagrama 2-7-3.

Quando veículos com características semelhantes realizam curvas normais e a aceleração lateral é baixa, o ângulo de deslizamento da roda dianteira fica maior e as características de subviragem dos veículos aparecem. No entanto, à medida que a aceleração lateral aumenta, os pneus precisam produzir força suficiente para dar um equilíbrio, então o ângulo de deslizamento aumenta e a força de curva entra na área de saturação. O que leva a um aumento no ângulo de deslizamento da roda traseira à medida que a aceleração lateral aumenta até um determinado ponto, fazendo com que o veículo exiba características de sobreviragem, tornando assim o movimento instável. Essa situação, na qual a característica de viragem muda dependendo da aceleração lateral, é chamada de viragem inversa.

Diagrama 2-7-3



O motor eficiente

CAPÍTULO 1 Engenharia automotiva

3 Temperatura e pressão

1 ► O movimento molecular produz temperatura e pressão

Hoje sabemos que o calor, a temperatura e a pressão são causados pelo movimento molecular. Essa compreensão só veio à luz no século XIX, e aceita como teoria comprovada no século XX. A fim de entender corretamente a perda

de energia e eficiência em motores e aeromecânica (hidromecânica), que abordaremos posteriormente, devemos primeiro aprender sobre o movimento molecular em relação à temperatura e à pressão.

■ Atividade molecular errática em um espaço fechado

Visualizemos uma substância gasosa em um recipiente vedado. Uma observação macroscópica da substância gasosa dentro do recipiente poderia ser que a temperatura e a pressão são estáveis. Isso é chamado de estado de equilíbrio. Porém, de uma perspectiva microscópica, existem diversas moléculas de gás movendo-se dentro do recipiente de forma

errática. Uma molécula pode ser mover com uma velocidade muito baixa enquanto outra se move com uma velocidade extremamente alta. Essas moléculas se chocam entre si e com as paredes do recipiente, alterando suas velocidades à medida que se movem.

Diagrama 3-1-1 Gás dentro de um recipiente vedado em um estado de equilíbrio

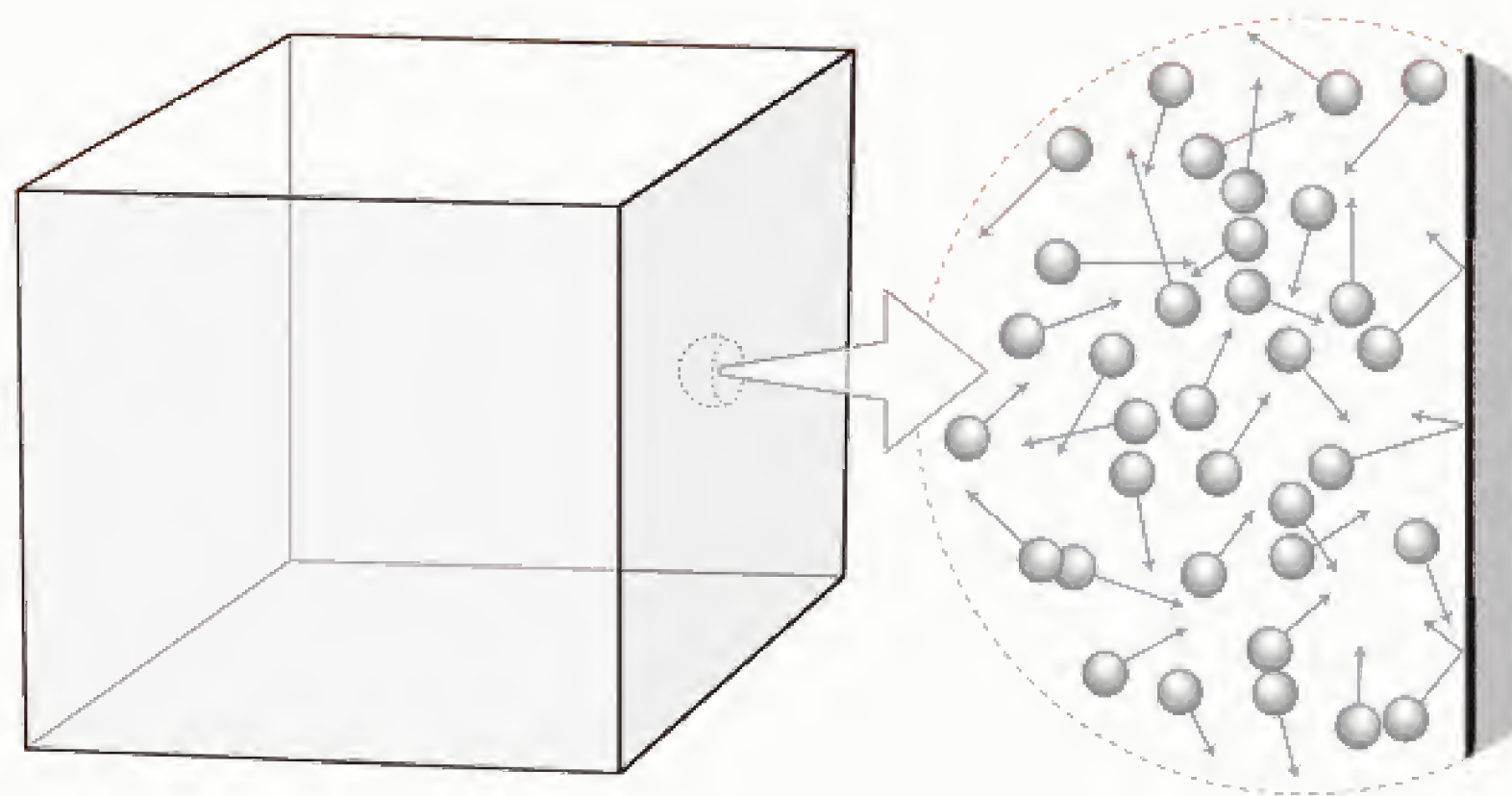


Diagrama 3-1-2 A constante de Boltzmann correlaciona a medida da mecânica e da termodinâmica



■ | **A temperatura é uma medida numérica da energia cinética média de cada molécula**

Dentro do recipiente, existem inúmeras moléculas de gás se movendo em várias velocidades. De uma perspectiva de energia, as moléculas de gás têm vários níveis de energia cinética. A temperatura é, na verdade, uma medida numérica da energia cinética média de cada molécula que se move de forma errática a várias velocidades. Isso pode ser expresso matematicamente como a seguir:

$$\text{Energia cinética média por molécula} = \frac{3}{2} kT$$

“T” é a temperatura absoluta e “k” é a constante de Boltzmann. É uma constante proporcional que não é afetada pela temperatura, densidade, pressão, quantidade e tipo do gás. Essa equação se relaciona à medida mecânica da energia cinética com a medida térmica da temperatura. A constante de Boltzmann é o que age com uma ponte importante entre as medidas mecânicas e as medidas térmicas.

■ | **A pressão é o valor médio da força de moléculas em movimento**

Consultando novamente o diagrama 3-1-1, as moléculas de gás chocam-se continuamente com as paredes do recipiente. Algumas moléculas se movem em velocidades altas, enquanto outras podem mover-se bem lentamente. Algumas moléculas podem chocar-se perpendicularmente à parede e outras, em um ângulo. Portanto, cada molécula tem uma força de impacto diferente.

No entanto, quando medimos a pressão, o que estamos fazendo, na verdade, é derivar a força média do impacto do conjunto de moléculas que se move erraticamente. É importante reconhecer que esse estado de equilíbrio, a força média do impacto e a pressão serão as mesmas, independentemente da direção ou do ponto de medição. Ou seja, embora as moléculas se movam de forma irregular e em várias velocidades, de uma perspectiva macroscópica, a força do impacto é igualmente dispersada em todas as direções.

Diagrama 3-1-3 A pressão é o valor médio da força de moléculas em movimento

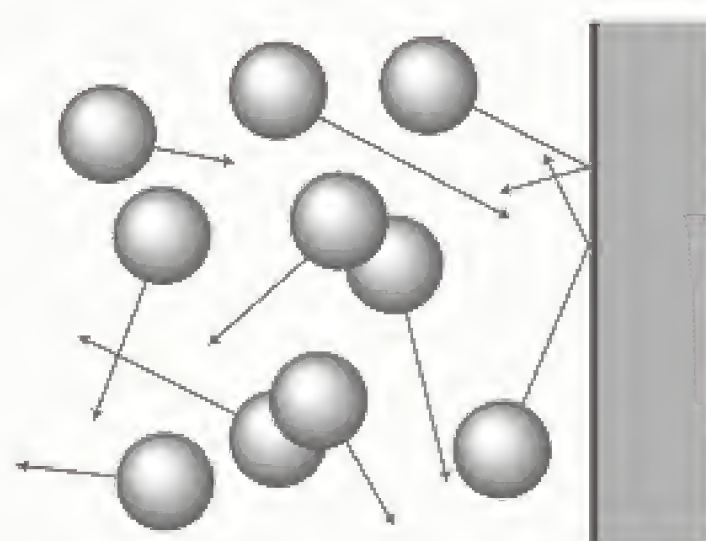
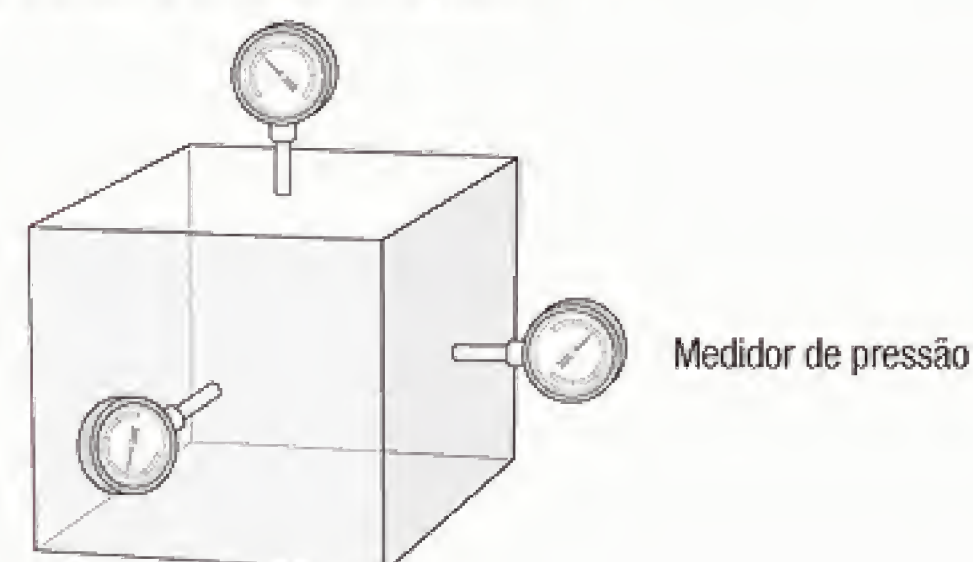


Diagrama 3-1-4 Em um estado de equilíbrio, o valor da pressão é constante em todas as direções



3 O motor térmico ideal

2 ► Eliminando transferência térmica desnecessária: O ciclo de Carnot

O motor é uma máquina que converte a energia térmica para o tipo desejado de energia mecânica. O que determina a eficiência de conversão quando a energia térmica é convertida em energia mecânica? A primeira pessoa a lançar luz sobre esse ponto foi o engenheiro e físico francês, Sadi Carnot. No século XIX, Carnot pôde formar um entendimento do deveria ser a eficiência ideal de um motor térmico e como essa eficiência seria determinada por meio da lógica. A conclusão de Carnot foi crucial para o desenvolvimento do motor térmico posteriormente.



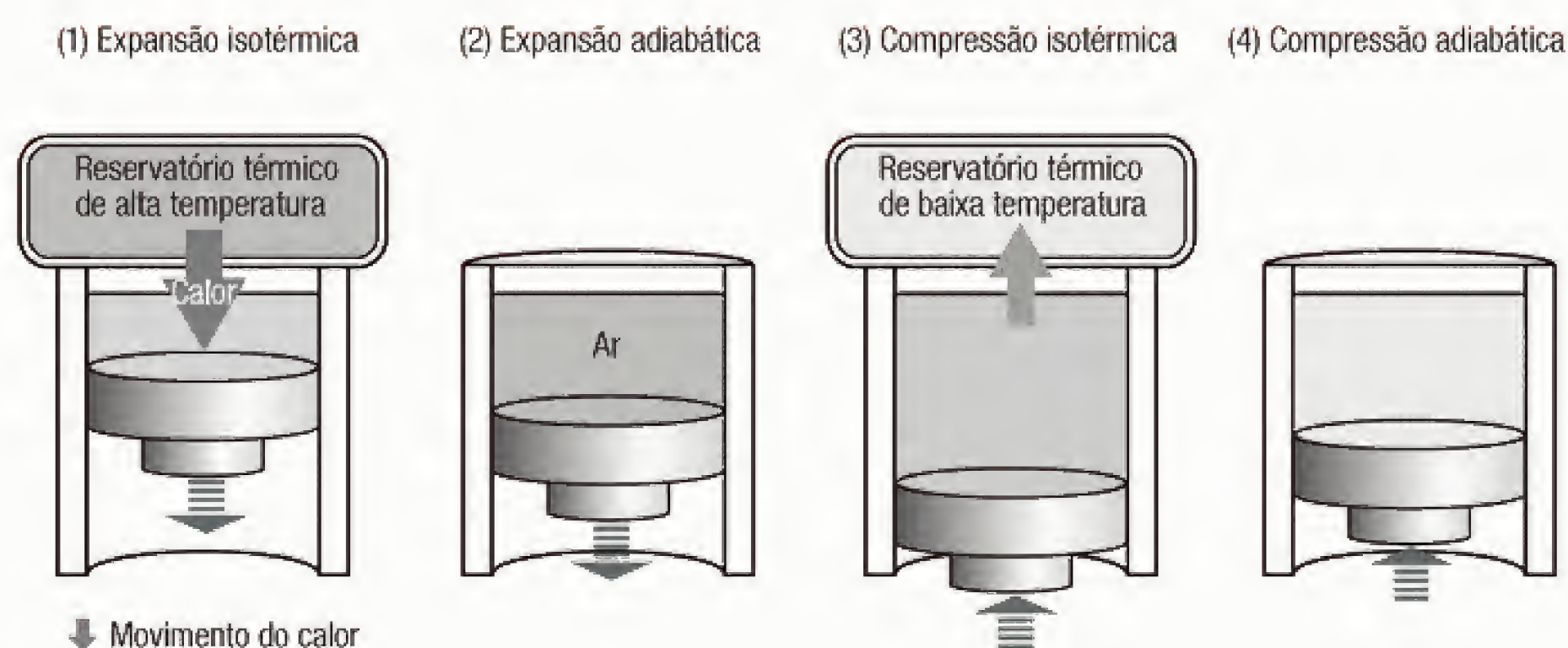
Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832)

■ As duas propriedades de Carnot

Quando Carnot decidiu compreender o motor térmico ideal, ele concentrou sua atenção em duas propriedades. Primeiro, para que o motor térmico funcione, precisa haver diferenças na temperatura. Sem essas diferenças na temperatura, não ocorreria a transferência térmica e o motor térmico não funcionaria. Porém, se houvesse uma diferença desnecessária na temperatura dentro do motor térmico depois da geração de trabalho, isso ocasionaria uma transferência térmica desnecessária. Assim, Carnot entendeu que, em relação à geração de trabalho (energia), um motor térmico ideal não dependeria da transferência térmica.

A propriedade secundária na qual ele se concentrou foi no fato de que, se fosse permitido alterar o volume de um material, a transferência térmica poderia ocorrer sem alterar a temperatura do material. Isso é chamado de mudança isotérmica. Carnot pensava que se a mudança isotérmica fosse utilizada, a energia poderia ser criada sem causar transferência térmica desnecessária. Com base nessas considerações preparatórias, Carnot teorizou sobre um ciclo termodinâmico que não envolvesse transferência térmica devido a diferenças desnecessárias na temperatura.

Diagrama 3-2-1 Processo do ciclo de Carnot



■ Ciclo de Carnot

Para observar com clareza a verdadeira natureza do calor, Carnot imaginou um motor de ar feito de um reservatório térmico de temperatura alta e baixa, um cilindro fechado com ar e um pistão. Ao permitir que o cilindro entrasse em contato com o reservatório térmico, ele pôde examinar as propriedades de transferência térmica e idealizou um ciclo termodinâmico ideal. O ciclo termodinâmico que ele inventou é mostrado nos diagramas 3-2-1 e 3-2-2.

1) Deixando-se o cilindro entrar em contato com o reservatório térmico de alta temperatura, o calor é transferido do reservatório para o cilindro, expandindo o ar dentro do cilindro. No entanto, as diferenças de temperatura precisam ser evitadas. Portanto, neste ponto, a temperatura do reservatório térmico e do ar dentro do cilindro precisa ser mantida no mesmo nível. A temperatura do ar também deve permanecer estável. A fim de alcançar esse objetivo, o ar deve ser lenta e gradualmente expandido. Expandir e comprimir uma substância gasosa por meio de uma temperatura constante controlada é chamado de mudança isotérmica.

2) A seguir, o cilindro expandido deve entrar em contato com o reservatório térmico de baixa temperatura. Porém, isso criaria uma diferença de temperatura. Para evitar isso, Carnot aplicou primeiro a mudança adiabática, onde compressão aumenta a temperatura e expansão diminui a temperatura. Carnot percebeu que o ar expandido pelo reservatório térmico de alta temperatura pode ser ainda mais

expandido aplicando-se a mudança adiabática, diminuindo, portanto, a temperatura do ar sem qualquer transferência térmica. Observe que esse processo ainda exige que o pistão seja movido bem lentamente.

3) Quando a temperatura do ar dentro diminuiu para a mesma temperatura do reservatório térmico de baixa temperatura, faz-se com que o cilindro entre em contato com o reservatório, transferindo, portanto, o calor no ar para o reservatório, enquanto comprime o ar. Novamente, as diferenças de temperatura devem ser evitadas, por isso o calor é transferido lenta e gradualmente usando a mudança isotérmica.

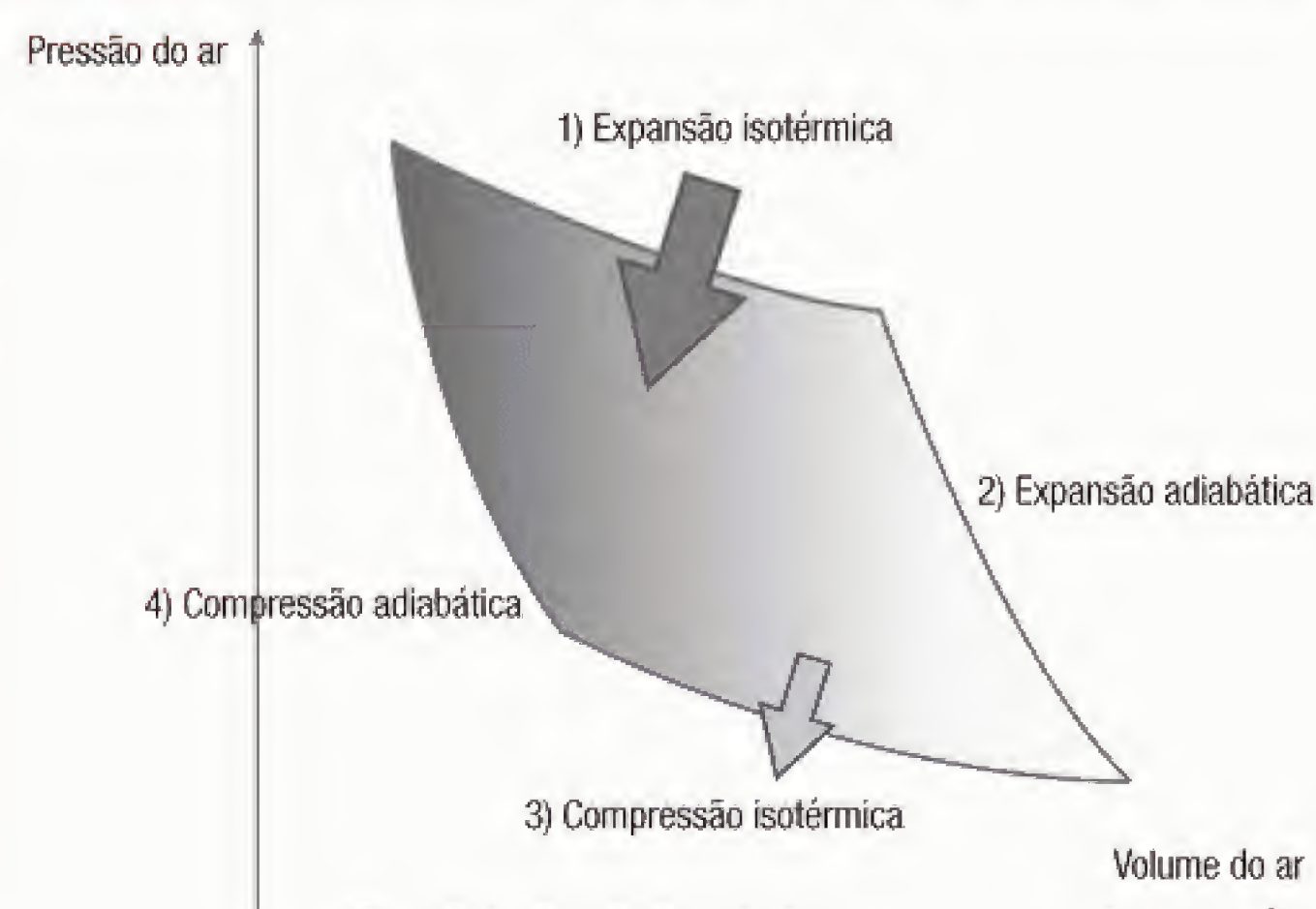
4) Depois da mudança isotérmica, o ar é comprimido aplicando-se a mudança adiabática para aumentar a temperatura. Quando comprimido de forma que a temperatura do ar corresponda à do reservatório térmico de alta temperatura, o processo pode retornar à expansão isotérmica, como descrito em (1), para repetir o ciclo.

Como observado acima, depois de passar (1) pela expansão isotérmica do reservatório térmico de alta temperatura, (2) resfriar por meio da expansão adiabática, (3) da compressão isotérmica do reservatório térmico de baixa temperatura e (4) aquecer por meio da compressão adiabática, o ar no cilindro retorna a seu estado original, convertendo calor em energia sem a ocorrência de transferência térmica desnecessária. Em homenagem a seu inventor, esse ciclo termodinâmico é chamado de ciclo de Carnot.

Cinquenta anos depois da morte de Carnot, nasce o primeiro veículo equipado com um motor a gasolina. A imagem mostra um veículo de três rodas feito por Karl Benz



Diagrama 3-2-2 Mudança na pressão do ar e volume no ciclo de Carnot



3 A conclusão de Carnot

3 ▶ Abstração surpreendente do motor térmico

■ Somente duas temperaturas do reservatório térmico determinam a eficiência

Até agora, é comum acreditar que o ciclo de Carnot é o ciclo termodinâmico mais eficiente para uso em um motor térmico. No entanto, Carnot se destacou por sua conclusão de que, com o ciclo de Carnot, duas temperaturas diferentes não interagiriam dentro de um cilindro. Por essa razão, o ciclo

termodinâmico é realmente o motor ideal. O que é ainda mais surpreendente é que Carnot concluiu que a eficiência do ciclo termodinâmico é determinada exclusivamente pela temperatura alta e pela temperatura baixa do reservatório térmico. Carnot não colocou isso em uma fórmula, mas anos depois o engenheiro britânico William Thompson criou a seguinte expressão matemática:

Temperatura do reservatório térmico de baixa temperatura

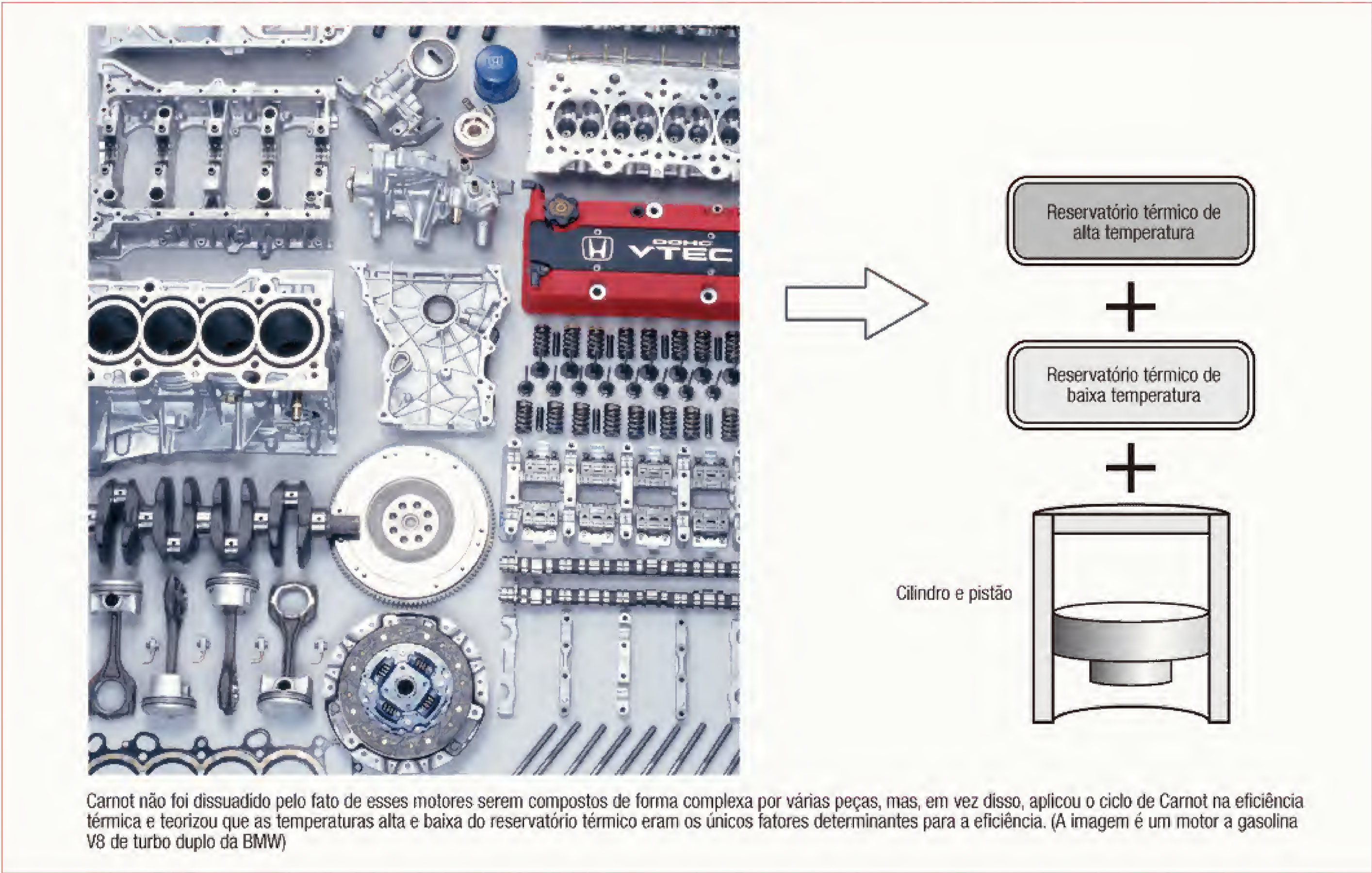
Eficiência ideal do ciclo de Carnot

= 1 -

Temp do res baixo

Temp do res alto

Diagrama 3-3-1 O motor térmico de Carnot identifica com precisão os componentes principais relacionados apenas ao calor e à potência a partir de um complexo sistema de motor térmico que consiste em vários fatores e consegue criar um modelo abstrato de motor térmico.



■ A abstração definitiva do motor térmico

A relação entre a eficiência teórica do ciclo de Carnot, o reservatório térmico e a temperatura foram esclarecidos, mas a conclusão a que Carnot chegou também lança luz sobre um ponto de engenharia muito interessante. Como a fórmula acima mostra, a eficiência teórica do ciclo de Carnot é determinada somente pelas diferenças de temperatura do reservatório térmico, não sendo causada pela estrutura do motor nem pelo ar, vapor ou qualquer outra substância

derivada. Ou seja, o ciclo de Carnot é determinado por causas naturais e não pela maneira como um motor é construído.

O motor térmico de Carnot identifica com precisão os componentes principais relacionados apenas ao calor e à potência a partir de um complexo sistema de motor térmico que consiste em vários fatores e consegue criar um modelo abstrato de motor térmico. Nada foi perdido e tudo que é necessário está lá. É, de certo modo, uma forma absoluta de abstração.

DICAS

Em 1824, Carnot publicou um ensaio técnico intitulado "Reflexões sobre a potência motivadora do fogo", no qual detalhou o ciclo de Carnot. Seu motivo foi estimular os aperfeiçoamentos feitos em relação a motores a vapor de um ponto de vista da engenharia.

Então, os motores a vapor eram amplamente usados e consistentemente aperfeiçoados ao ponto de navios a vapor já terem cruzado com êxito o Atlântico cinco anos antes do ensaio de Carnot. Mas houve muito pouco raciocínio científico por trás do motor a vapor. Dessa forma, os aperfeiçoamentos baseavam-se somente na experiência e nas "adivinhações" dos mecânicos. Carnot decidiu explorar a relação entre o motor térmico e causas naturais, não o que era causado pela estrutura, mecanismo ou objetos de trabalho do motor.

A importância da contribuição de Carnot não foi reconhecida imediatamente. Além disso, no ano de 1832, quando pesquisava sobre o cólera, Carnot foi infectado pela doença e faleceu, aos 36 anos de idade. Como era de costume na época quando alguém falecia devido ao cólera, a maior parte dos resultados de pesquisas e trabalhos de Carnot foram destruídos.

No entanto, mesmo depois da morte de Carnot, suas ideias foram complementadas por um de seus colegas, Clapeyron. Isso levou à ampla divulgação das teorias de Carnot, e contribuiu para que ele fosse considerado um pioneiro em novos campos, como a termodinâmica e a mecânica estatística.



DICAS

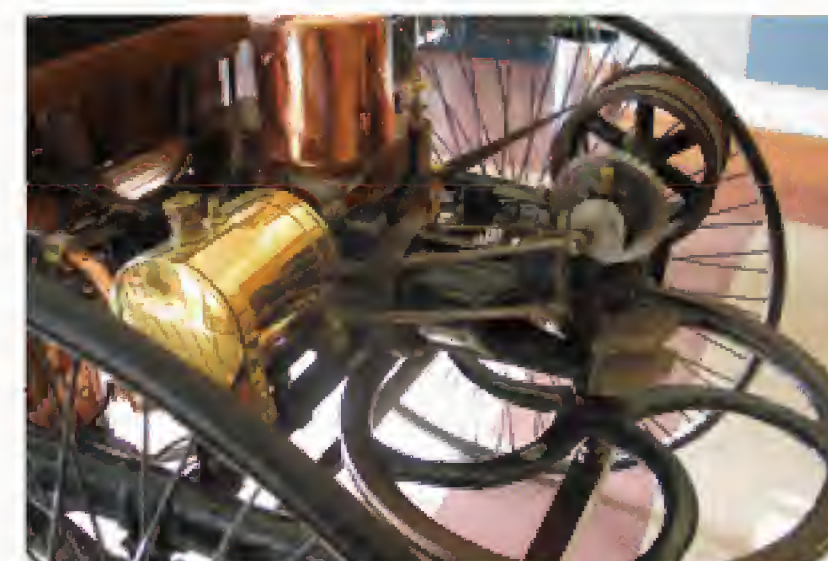
Bilhete em que William Thompson, o homem que transformou a eficiência teórica do ciclo de Carnot em uma fórmula matemática, definiu a temperatura absoluta por meio da derivação da eficiência teórica do ciclo de Carnot.



Um veículo de quatro rodas construído em 1886 por Gottlieb Daimler



O motor a gasolina do veículo de quatro rodas da Daimler, com especificações de cilindrada de 462 cc, 680 rpm e 1,08 CV



A peça do motor do veículo de três rodas supracitado criado por Karl Benz. Enquanto o motor de Daimler tinha o cilindro posicionado verticalmente, aqui foi posicionado na horizontal. 984 cc, 400 rpm e 0,94 CV

3 A eficiência teórica dos motores de carros

4 ► Investigando as eficiências teóricas do ciclo de Otto e de Diesel

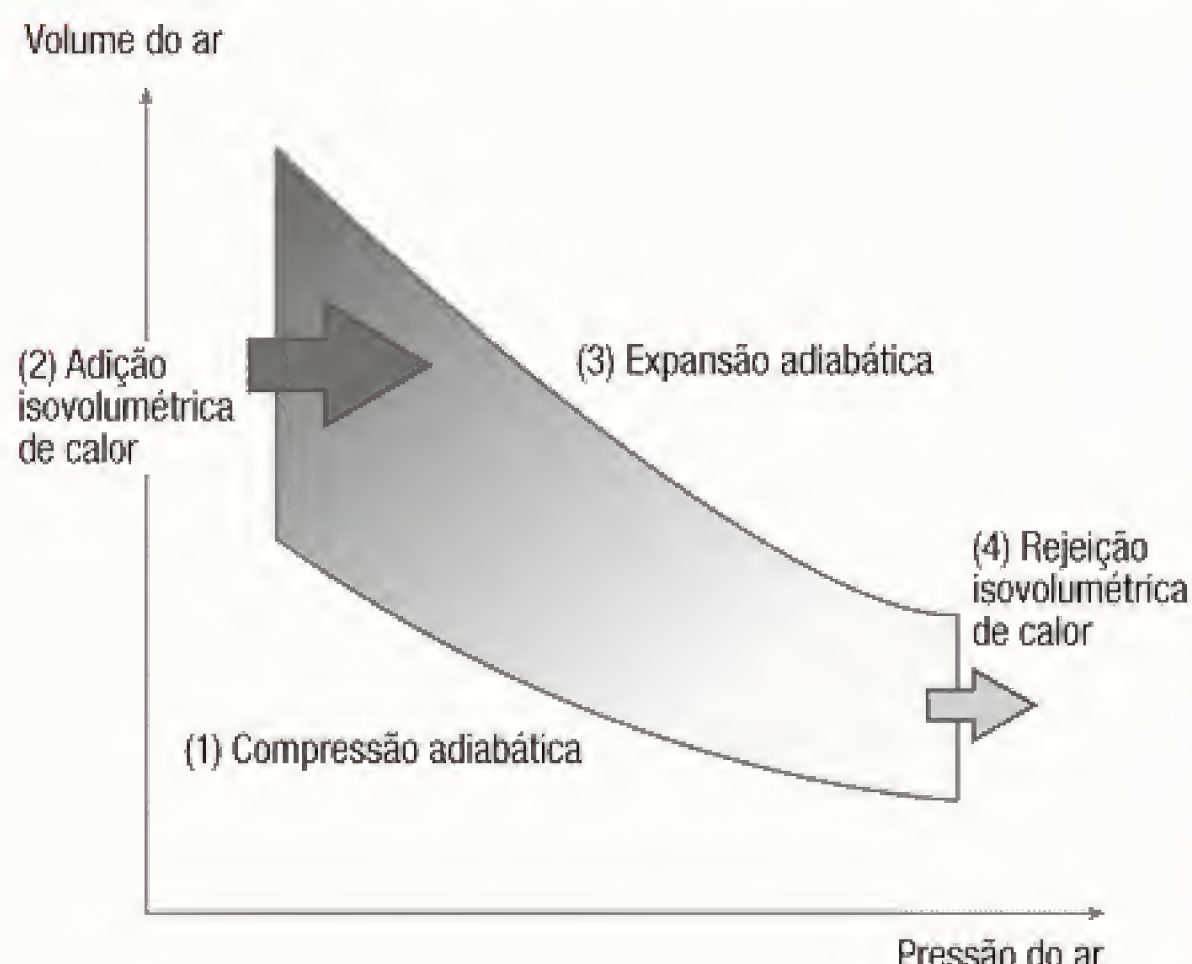
■ Ciclo de Otto

Agora que sabemos o que torna um motor térmico ideal, vamos analisar o motor de carro padrão. Os motores a gasolina de hoje baseiam-se no motor de quatro cursos do ciclo de Otto inventado por Nikolaus Otto. Os quatro ciclos no ciclo de Otto são: (1) compressão adiabática, (2) adição isovolumétrica de calor, (3) expansão adiabática e (4) rejeição isovolumétrica de calor. A adição isovolumétrica de calor e a rejeição isovolumétrica de calor referem-se ao aquecimento e resfriamento da substância ativa dentro do cilindro sem a alteração do volume do cilindro.

Como o ciclo de Carnot, a obtenção da eficiência máxima no ciclo de Otto pode ser ilustrada utilizando-se um motor a ar com reservatórios de temperaturas alta e baixa, e movendo os pistões bem lentamente. Porém, com o ciclo de Otto, o desequilíbrio na temperatura durante os ciclos isovolumétricos de 2 e 4 não podem ser evitados. Como o ciclo de Otto não inclui uma mudança isotérmica, a transferência térmica não pode ocorrer do reservatório térmico de alta temperatura para o ar ou do ar para o reservatório térmico de baixa temperatura sem uma diferença de temperatura, o que resulta em uma transferência térmica desnecessária. Dessa forma, essa transferência térmica torna o ciclo de Otto relativamente ineficiente em comparação com o ciclo de Carnot.

A eficiência térmica teórica do ciclo de Otto é representada matematicamente como:

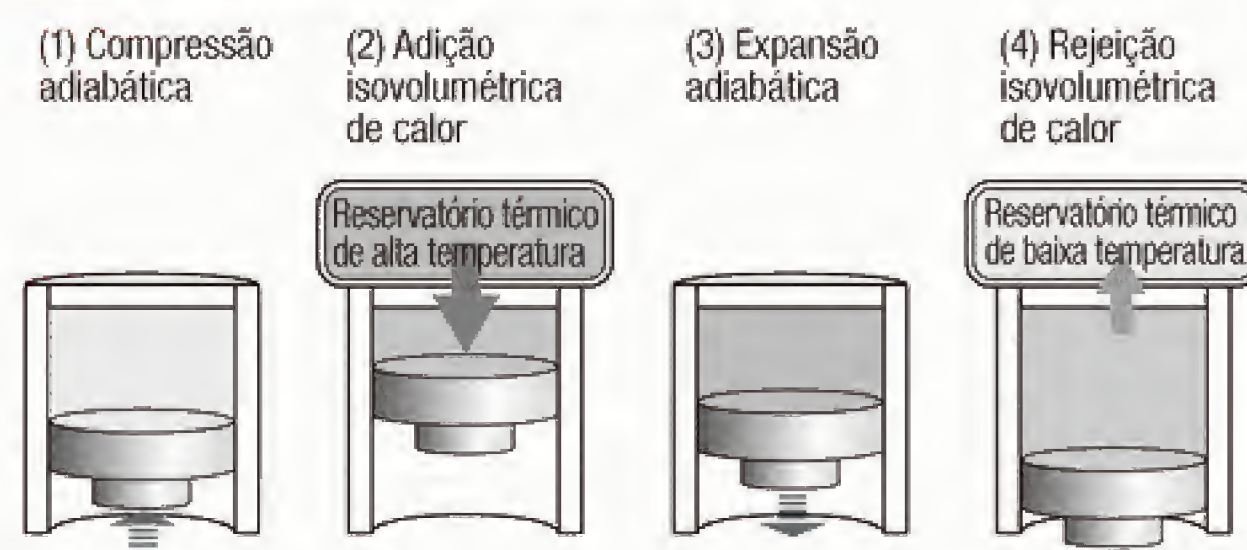
Diagrama 3-4-2 Mudança na pressão do ar e volume no ciclo de Otto



$$\text{Eficiência teórica do ciclo de Otto} = 1 - \frac{1}{\text{Razão de compressão}^{\text{do calor específico} - 1}}$$

Como a fórmula demonstra, a eficiência teórica do ciclo de Otto é diferente da do ciclo de Carnot. Ela é determinada pelo mecanismo do motor e pelas características da substância ativa em relação à compressão e a razão específica de calor, mas não há limite sobre qual mecanismo deve ser usado para a compressão ou que substâncias ativas devem ser usadas. Embora o motor tenha muitas variáveis e mecanismos sofisticados, a taxa de compressão e a razão do calor específico determinam a eficiência teórica do motor.

Diagrama 3-4-1 Processos do ciclo de Otto



Amostra do ciclo de Otto. Motor a gasolina V8 com turbo duplo da BMW



DICAS

O ciclo termodinâmico do ciclo de Atkinson, que geralmente é mais usado em carros híbridos, é o mesmo que o do ciclo de Otto. Consulte as "Dicas" em 3-7.

■ Eficiência teórica do ciclo de Diesel

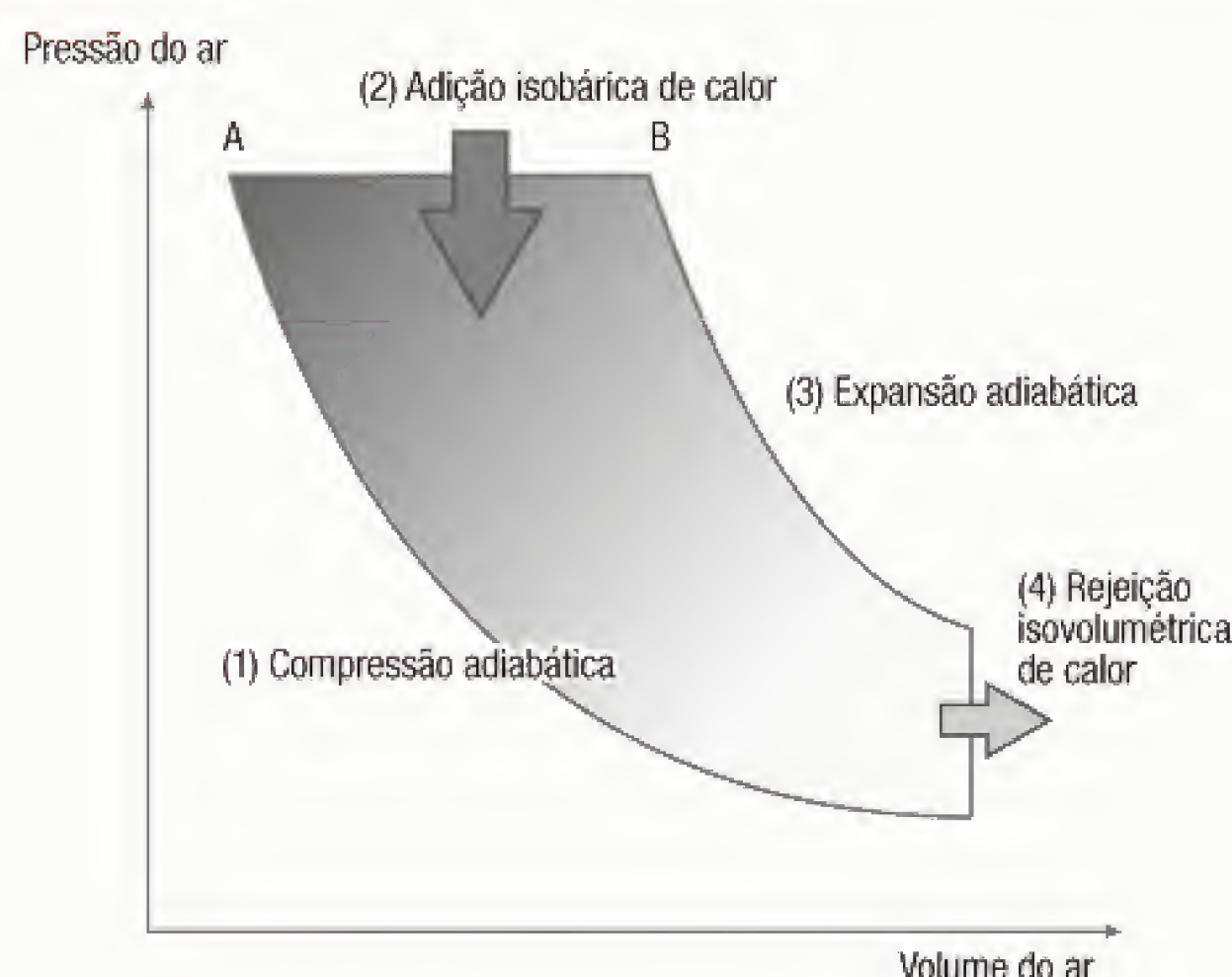
O ciclo de Diesel é o ciclo termodinâmico do motor a diesel inventado por Rudolf Diesel. Os quatro processos do ciclo de Diesel são: (1) compressão adiabática, (2) adição isobárica de calor, (3) expansão adiabática e (4) rejeição isovolumétrica de calor. A adição isobárica de calor refere-se ao aquecimento da substância ativa dentro do cilindro sem alterar a pressão do ar.

A eficiência térmica teórica pode ser deduzida da fórmula ao lado:

Diagrama 3-4-3 Processos do ciclo de Diesel



Diagrama 3-4-4 Mudança na pressão do ar e volume no ciclo de Otto



$$\text{Razão de corte da injeção de combustível} = \frac{\text{volume B}}{\text{volume A}}$$

$$\text{Eficiência teórica do ciclo de Diesel} = 1 - \frac{1}{\text{Razão de compressão}} \cdot \frac{\text{Razão de corte da injeção de combustível}}{\text{Razão do calor específico} \left(\text{corte da injeção} - 1 \right)}$$

Ela é determinada por somente três medidas: taxa de compressão, razão do calor específico e a razão de corte da injeção de combustível. Para maximizar a eficiência do ciclo de Diesel, o pistão deve ser novamente movido muito lentamente. Porém, a transferência térmica é inevitável nos ciclos 2 e 4. Portanto, a transferência térmica do ciclo de Diesel é relativamente ineficiente em comparação com a do ciclo de Carnot.



Amostra do ciclo de Diesel. Motor a diesel de 2.2 litros da Mazda

Todos os três ciclos: de Carnot, de Otto e de Diesel, não conseguem alcançar a eficiência teórica de um motor térmico. Na realidade, mover o pistão lentamente como exigido para a obtenção de eficiência máxima não cria valor utilitário. Além disso, as temperaturas do pistão e do cilindro não podem ser isoladas totalmente, o que leva a transferência térmica desnecessária devido às diferenças de temperatura. Além disso, o atrito também não pode ser evitado entre o pistão e o cilindro. Porém, esclarecer a eficiência teórica lança luz sobre a verdadeira natureza de cada motor térmico, dando aos engenheiros um princípio orientador muito valioso.

3 Mudança reversível e mudança irreversível

5 ► A mudança natural tem uma direção

Daqui, vamos examinar a perda de energia inevitável do motor baseado nos princípios discutidos nas sessões ante-

riores. Mas antes de entrarmos em detalhes, uma lei natural muito importante deve ser explicada.

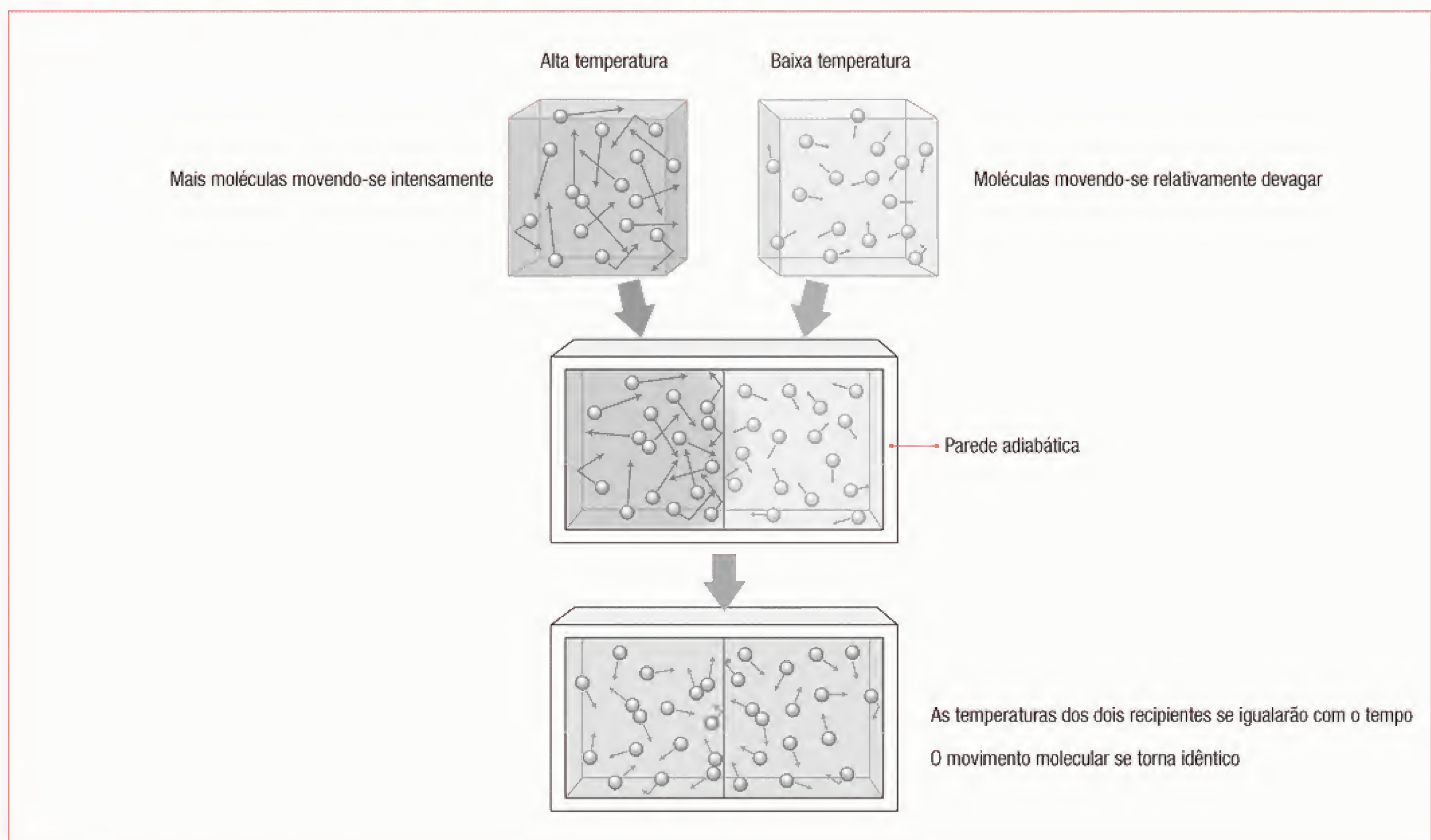
■ A natureza modifica-se da ordem para a desordem

Vamos observar novamente as moléculas de gás dentro de um recipiente. Mas desta vez, usaremos um recipiente com gás em alta temperatura e outro com gás em baixa temperatura vedado em seu interior. Se os dois recipientes forem colocados em contato entre si, o calor do recipiente de alta temperatura será transferido para o recipiente de baixa temperatura. Se deixados como estão, os dois logo atingirão uma temperatura média, que interromperá qualquer outra transferência térmica, resultando em um estado de equilíbrio.

De uma perspectiva microscópica, inicialmente, o recipiente com gás em alta temperatura contém quantidades

relativamente maiores de moléculas em rápido movimento, enquanto o recipiente de baixa temperatura tem uma quantidade relativamente menor de moléculas em rápido movimento. Quando os dois recipientes entram em contato entre si, a energia cinética das moléculas dentro do recipiente de alta temperatura é transferida para o recipiente de baixa temperatura, aumentando a energia cinética molecular dentro do recipiente de baixa temperatura. Quando cada uma das moléculas nos dois recipientes atinge a energia (temperatura) cinética média, a transferência de energia cinética (energia térmica) entre os recipientes se encerra.

Diagrama 3-5-1 Contato entre dois recipientes com diferentes temperaturas



■ Nenhuma mudança ocorre entre “desordem” e “ordem”

O mesmo exemplo pode ser visto por outra perspectiva. Dentro de um recipiente estão moléculas de alta energia cinética e no outro estão as moléculas de menor energia cinética, possibilitando a distinção do movimento molecular dentro dos recipientes de alta e baixa temperatura. Pode-se dizer que há informações distinguíveis dentro dos recipientes. Porém, quando os recipientes atingiram o estado de equilíbrio, as informações distinguíveis não estão mais presentes. Os recipientes estão agora no estado de “desordem”.

Na natureza, a transformação de um estado de “ordem” para o de “desordem” é natural. A transformação inversa de “desordem” para “ordem” não ocorre na natureza. Por exemplo, quando os recipientes de alta e baixa

temperaturas entraram em contato entre si, o recipiente de alta temperatura resfriou e o de baixa temperatura esquentou, o que é natural. Por outro lado, sabemos por experiência que quando dois recipientes com diferentes temperaturas são colocados juntos, o recipiente com a temperatura mais alta não aquecerá e o com temperatura mais baixa não resfriará. Além disso, independentemente de o que as pessoas façam, não podemos ir contra a natureza e inverter os dois recipientes em equilíbrio de volta para suas temperaturas originais “exatas”, como se rebobinásemos um filme. Quando o estado original não pode ser recuperado com a reversão da mudança, isso é conhecido como mudança irreversível. Se a mudança puder ser desfeita e recuperada a seu estado original, a chamamos de mudança reversível.

Diagrama 3-5-2 Uma direção natural da mudança na natureza

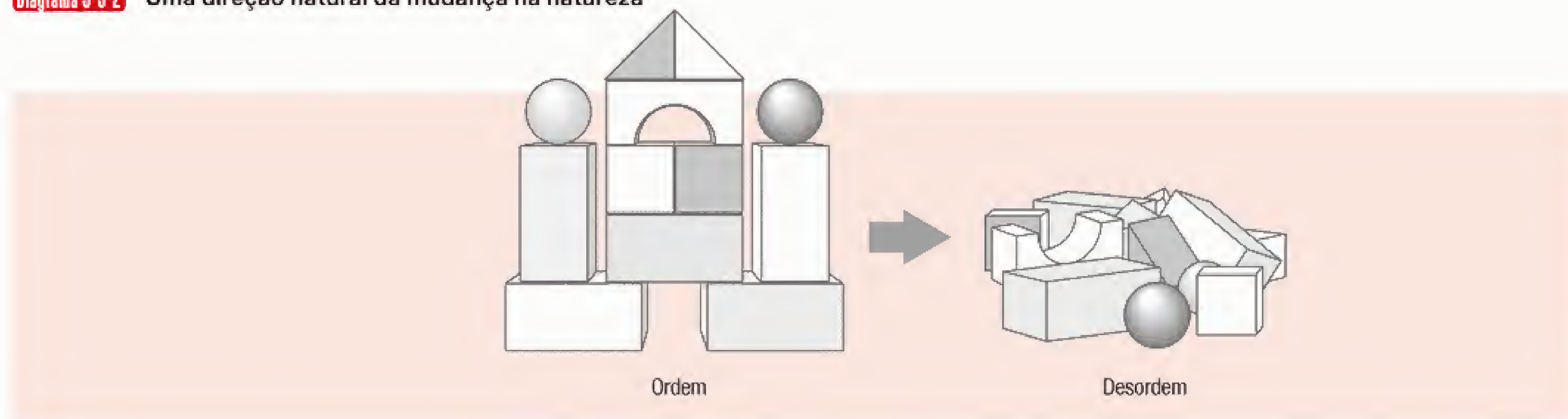
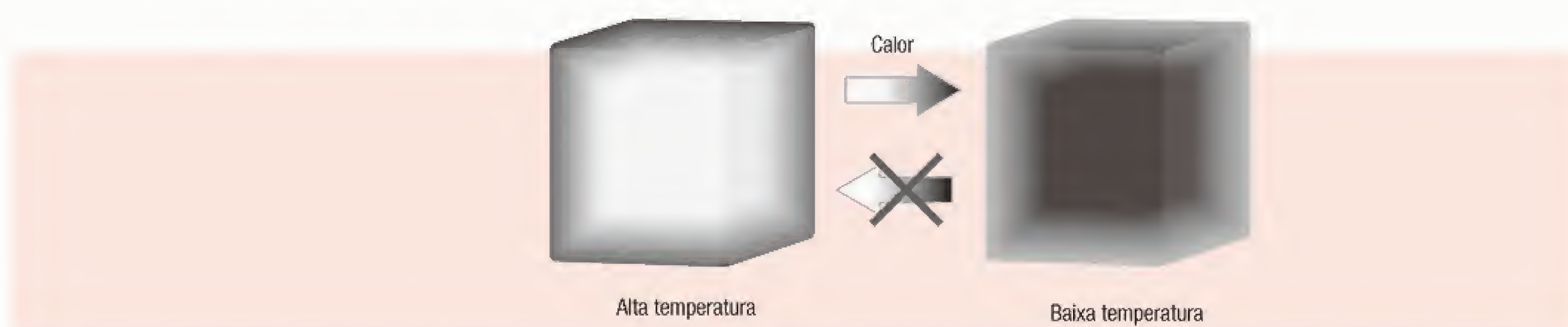


Diagrama 3-5-3 A transferência térmica da temperatura baixa para alta não ocorre naturalmente. (Para ser específico, esse fenômeno pode ocorrer naturalmente, mas a chance de que ele ocorra é quase nula, e é algo que os humanos não podem observar.) Se a transferência térmica da temperatura baixa para a mais alta é feita artificialmente, sempre haverá um traço da transferência. Portanto, a reversão perfeita para as condições de temperatura alta e baixa originais não é possível.



3 Invertendo o motor térmico

6 Diferenças nos ciclos reversível e irreversível

Explicamos a eficiência teórica dos ciclos de Carnot, Otto e Diesel, então por que os motores reais não conseguem alcançar essa eficiência teórica? Por que a perda de energia

ocorre em um motor real? A resposta para isso está no fato de que a eficiência teórica do ciclo termodinâmico pode somente ser alcançada por uma velocidade gradual e lenta do pistão.

O processo reversível do ciclo de Carnot

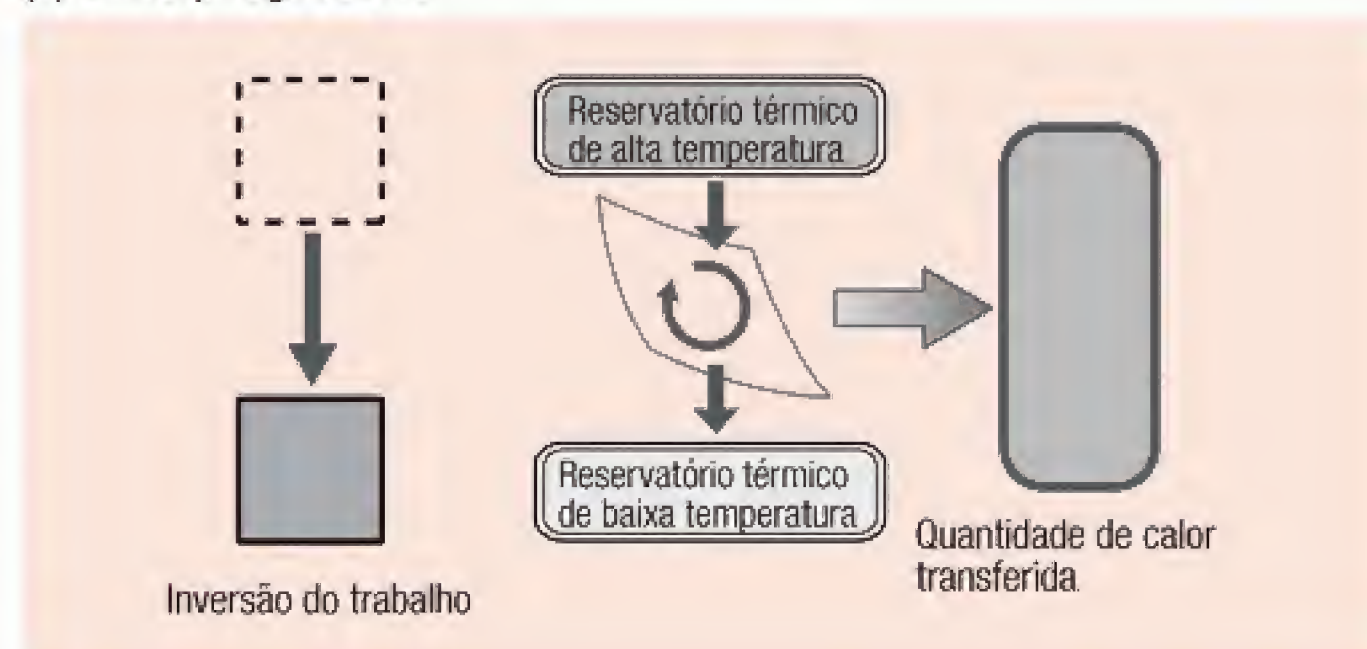
Vamos voltar ao ciclo de Carnot. Vamos chamar o ciclo de Carnot processado na ordem de (1) → (2) → (3) → um “ciclo progressivo” e um processo inverso de (4) → (3) → (2) → (1) de “ciclo inverso”. Vamos presumir que, por meio do ciclo progressivo do ciclo de Carnot, uma determinada quantidade de calor é transferida do recipiente térmico de alta temperatura para o reservatório térmico de baixa temperatura, e que durante o processo, o trabalho derivado fica reservado em algum lugar. A seguir, se esse trabalho reservado é usado para realizar um ciclo inverso do ciclo de Carnot, o calor transferido pelo ciclo progressivo para o reservatório térmico de baixa temperatura é devolvido exatamente para o reservatório térmico de alta temperatura. Neste ponto, o trabalho reservado será esgotado pelo ciclo inverso, não deixando nada para trás. Ou seja, o trabalho derivado pelo ciclo progressivo do ciclo de Carnot pode ser invertido e quando esse trabalho reservado é usado para o ciclo inverso, todo o ciclo é “revertido de volta para seu estado original perfeito”. Isso é possível pelo fato de que o ciclo de Carnot não tem objetos com diferenças de temperatura entrando em contato entre si, o que evita movimentos térmicos desnecessários. Ou seja, todos os processos do ciclo de Carnot são mudanças reversíveis, então um ciclo inverso é possível.

Diagrama 3-6-2 Natureza reversível do ciclo de Carnot

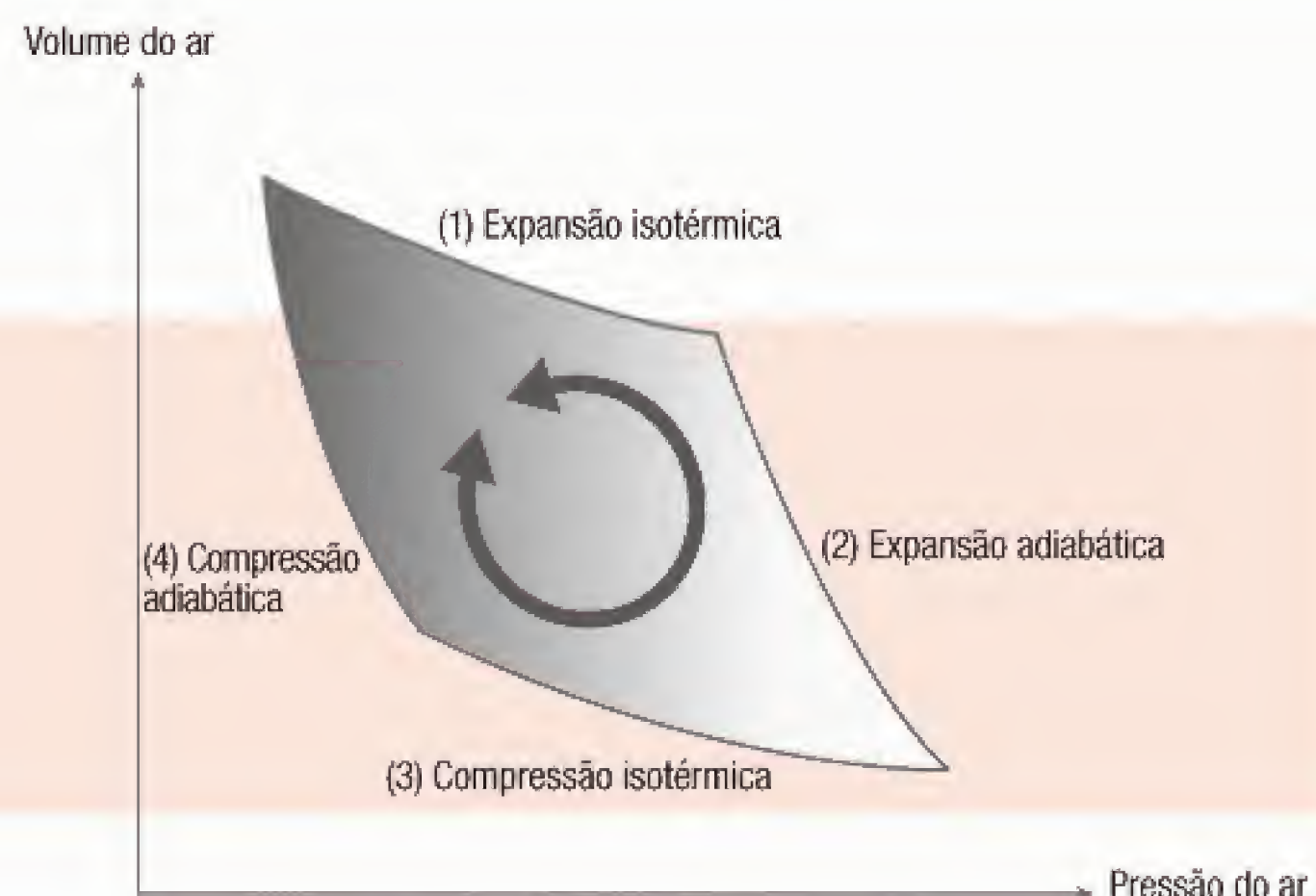
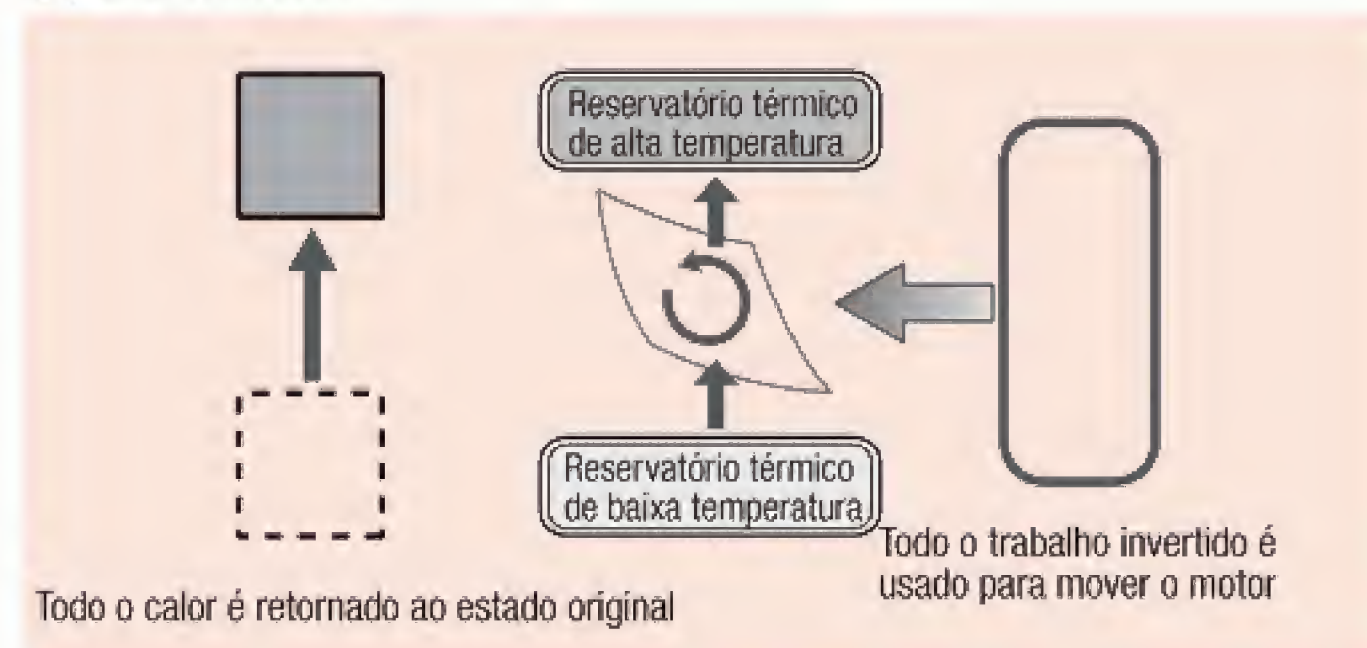
Todos os ciclos do ciclo de Carnot são reversíveis, assim, um ciclo inverso é possível.

Diagrama 3-6-1 Ciclo de Carnot invertido

(1) Ciclo progressivo



(2) Ciclo inverso



■ O ciclo inverso dos motores de carros é irreversível

Vamos considerar os ciclos de Otto e Diesel. De modo semelhante aos casos anteriores, vamos reservar o trabalho do ciclo progressivo e aplicar o trabalho reservado ao ciclo inverso. Mesmo que esgotemos o trabalho reservado para o ciclo inverso, todo o calor não poderá ser transferido do reservatório de baixa temperatura para o reservatório de alta temperatura e somente uma parte do calor será revertida para o original.

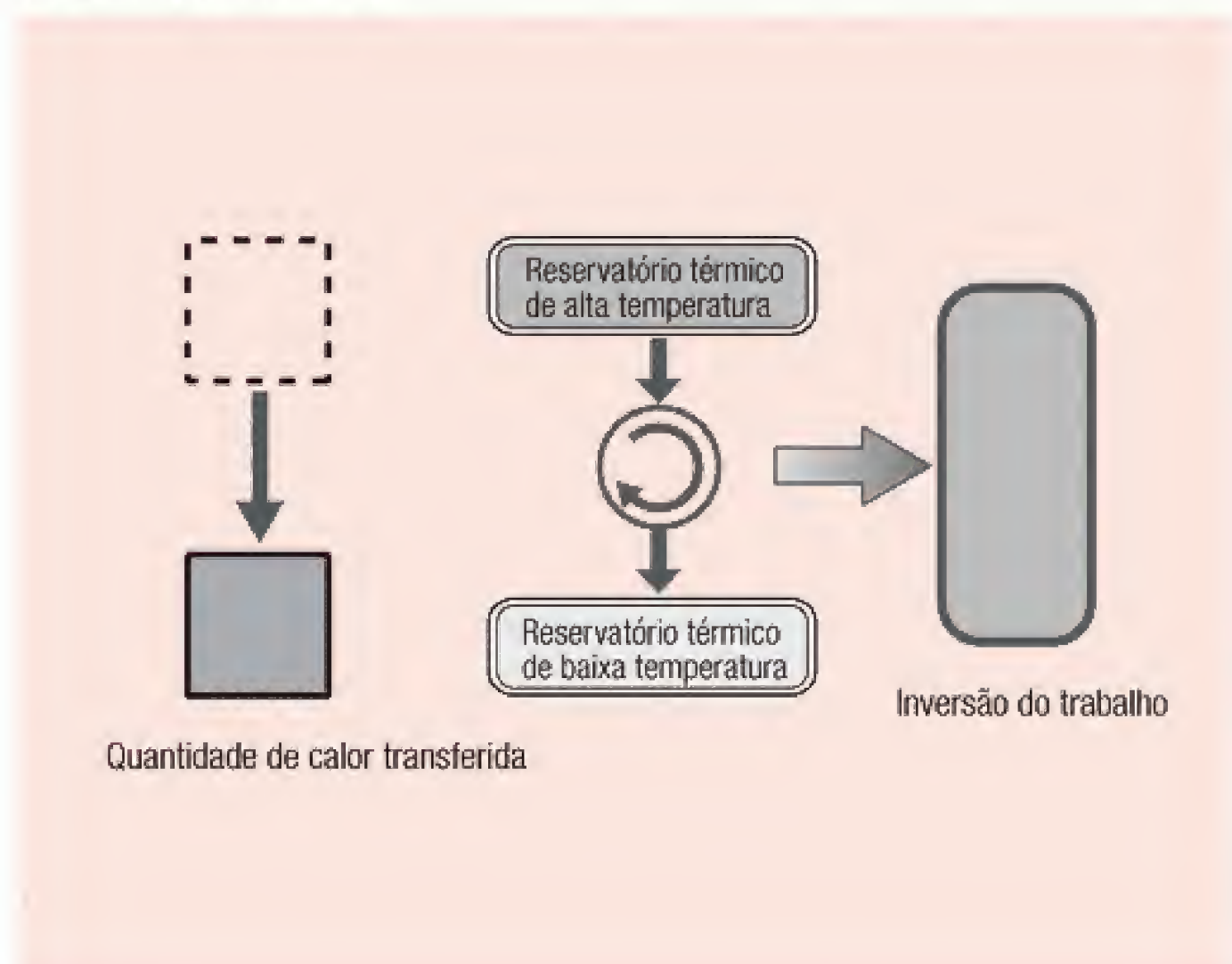
O motivo para que isso ocorra, para os ciclos de Otto e Diesel, é que um nível da diferença de temperatura é necessário para conduzir a (2) adição isovolumétrica de calor e a (4) rejeição isovolumétrica de calor; e a (2) adição isobárica de calor e a (4) rejeição isobárica de calor, respectivamente.

Esses processos não criam trabalho e ocasionam transferência térmica desperdiçada entre as temperaturas alta e baixa. Assim, comprado com o ciclo de Carnot, a quantidade de trabalho derivada e um ciclo progressivo é reduzida na mesma quantidade da transferência térmica desperdiçada. Além disso, em uma operação invertida, você vai em direção contrária à natureza ao mover a energia térmica de baixa para alta temperatura em um processo com diferença de temperatura, então, novamente, mais trabalho é necessário.

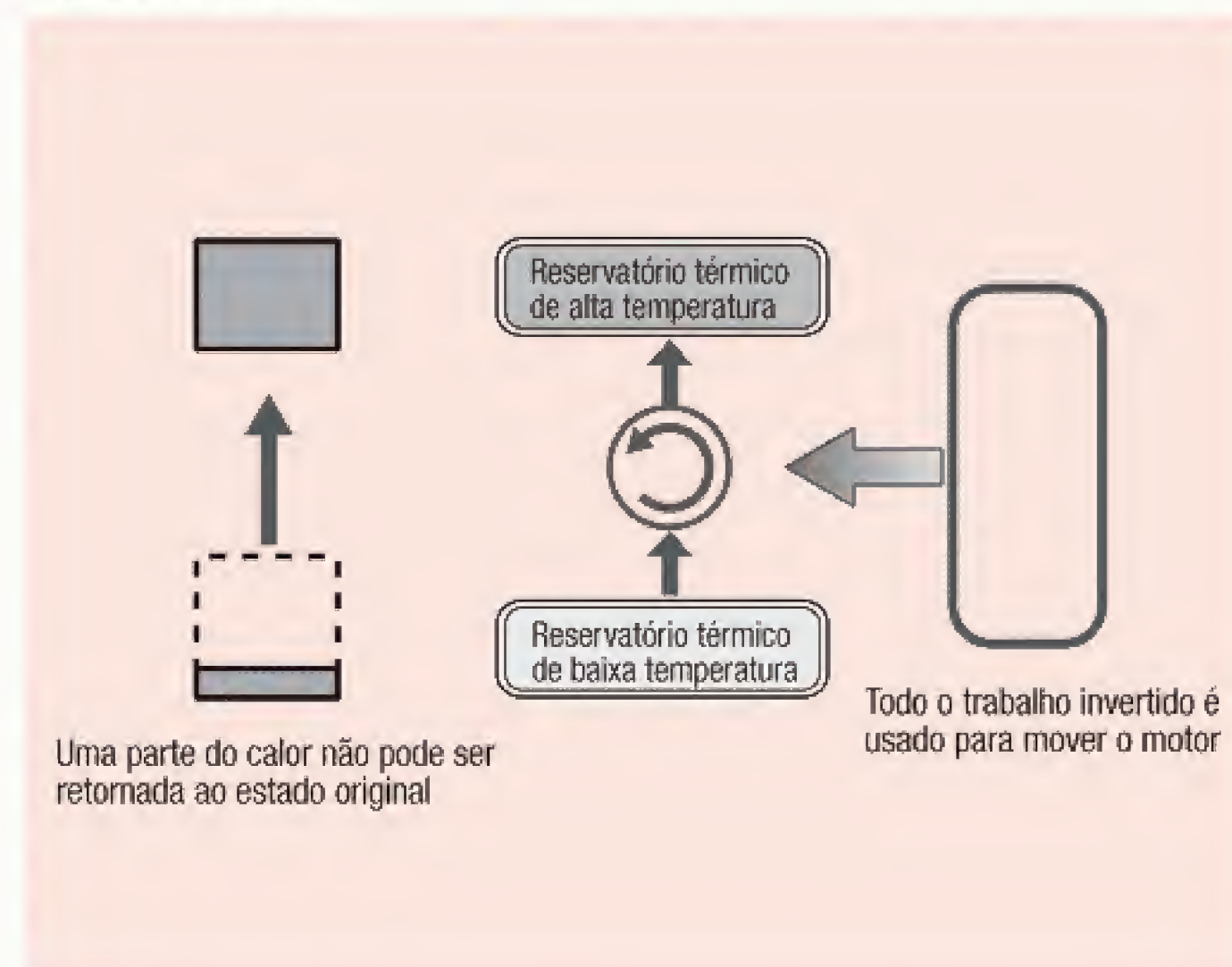
Isso na verdade indica algo muito importante. Se o motor térmico não pode conduzir um ciclo inverso reversível, é prova de que há transferência térmica desperdiçada ocorrendo dentro do processo do resultado do trabalho do ciclo. Vamos abordar isso posteriormente.

Diagrama 3-6-3 Ciclo de Carnot invertido

(1) Ciclo progressivo



(2) Ciclo inverso



DICAS

Se o ciclo de Carnot é reversível, o que fica para trás depois da realização de um ciclo progressivo e de um ciclo inverso? Carnot entendeu que seu ciclo de Carnot, que não deixa nada para trás, é o motor ideal. Se há um motor mais eficiente que o do ciclo de Carnot, ele terá que usar o movimento perpétuo. No entanto,

presume-se que o movimento perpétuo não exista e que a possibilidade supracitada seja controversa.

3 Perda de energia em motores

7 ► A perda de energia se deve à mudança irreversível

Ao explicar a eficiência teórica do motor térmico, mencionamos repetidamente que “o pistão deve ser movido gradualmente e com velocidades baixas”. Isso é necessário

para evitar qualquer mudança irreversível. Agora vamos explorar mais a natureza da perda de energia devido à mudança irreversível.

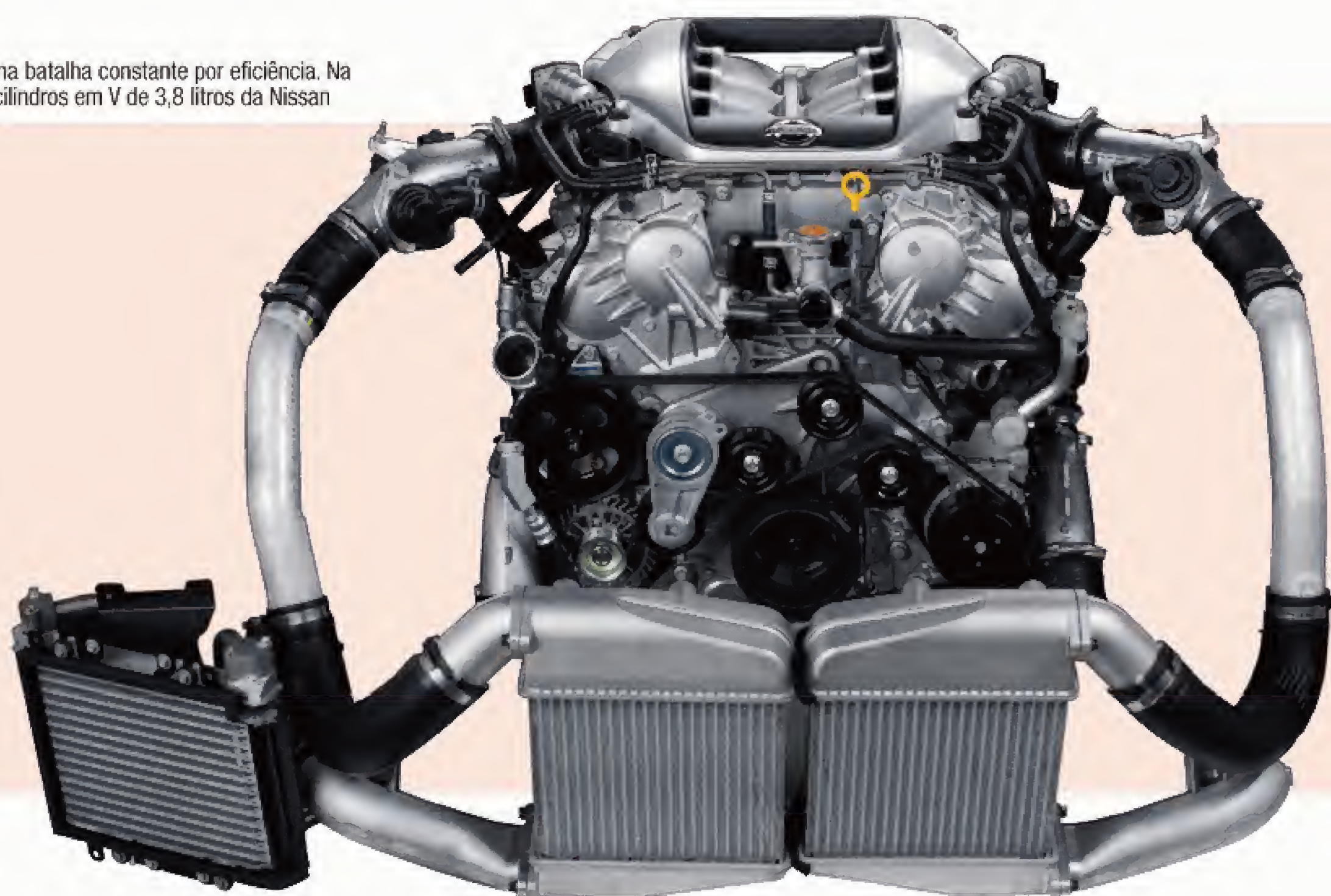
■ Perda de energia em motores

Como mostrado anteriormente, o ciclo de Carnot não transfere calor por meio de diferenças de temperatura, então um ciclo inverso reversível é possível. No entanto, o ciclo de Otto e o ciclo de Diesel dependem de processos irreversíveis que usam diferenças de temperatura para a transferência térmica, de forma que um ciclo inverso reversível não seja possível.

Até agora, nos concentramos no conceito de mudança irreversível devido à transferência térmica com o uso de diferenças de temperatura, mas se houver um fenômeno de mudança irreversível dentro do processo de um ciclo de motor térmico, a transferência térmica não pode ser extraída para o trabalho e é, ao invés disso, algo que reduz a quantidade de trabalho possível.

Quando o motor real está em movimento, o calor é criado a partir da mudança química do combustível dentro do cilindro, usando, portanto, a energia criada para mover o pistão para a geração de trabalho. Neste momento, o calor cria diferenças de temperatura, que geram desperdício desnecessário de transferência térmica. O atrito entre o cilindro e o pistão causa ruído e turbulência, e a mudança química do combustível também é irreversível. Obviamente, como este fenômeno é irreversível, as mudanças, quando ocorrem, não podem ser revertidas perfeitamente para seu estado original, como rebobinar um filme. Ou seja, o desperdício de transferência térmica ocorreu.

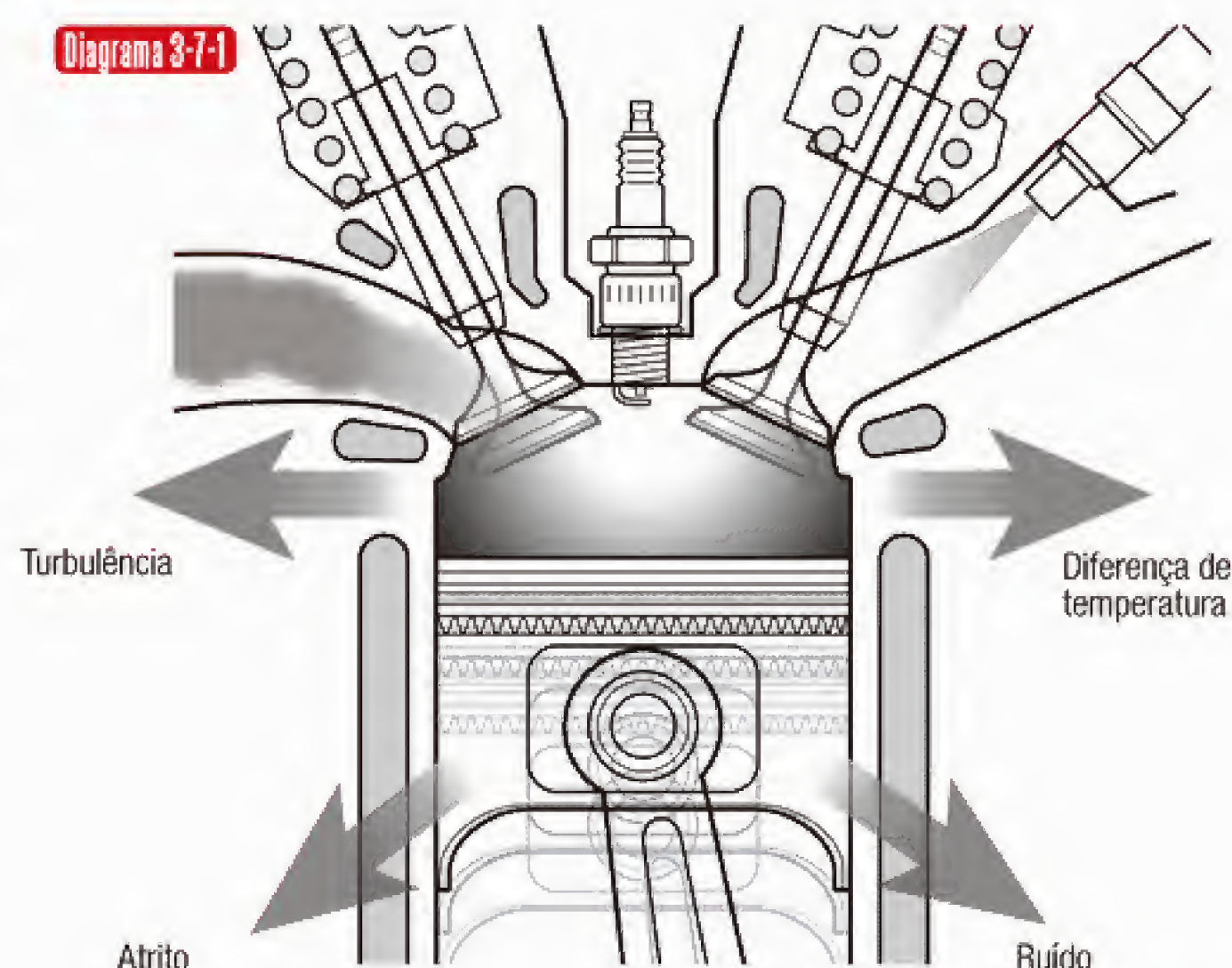
O desenvolvimento de motores é uma batalha constante por eficiência. Na figura está o motor tipo VR38 de 6 cilindros em V de 3,8 litros da Nissan



Perda de energia mecânica

Até agora, o foco tem sido em relação aos motores térmicos, mas a perda de energia mecânica ocorre exclusivamente em função da mudança irreversível. Por outro lado, uma máquina eficiente é aquela na qual a mudança irreversível não ocorre tanto. Sendo assim, para criar uma máquina eficiente, compreender o que é a mudança irreversível e evitar que ela aconteça o máximo possível é muito importante.

Diagrama 3-7-1



Quando o pistão é movido rapidamente, uma grande quantidade de energia irreversível é perdida pelo motor

DICAS

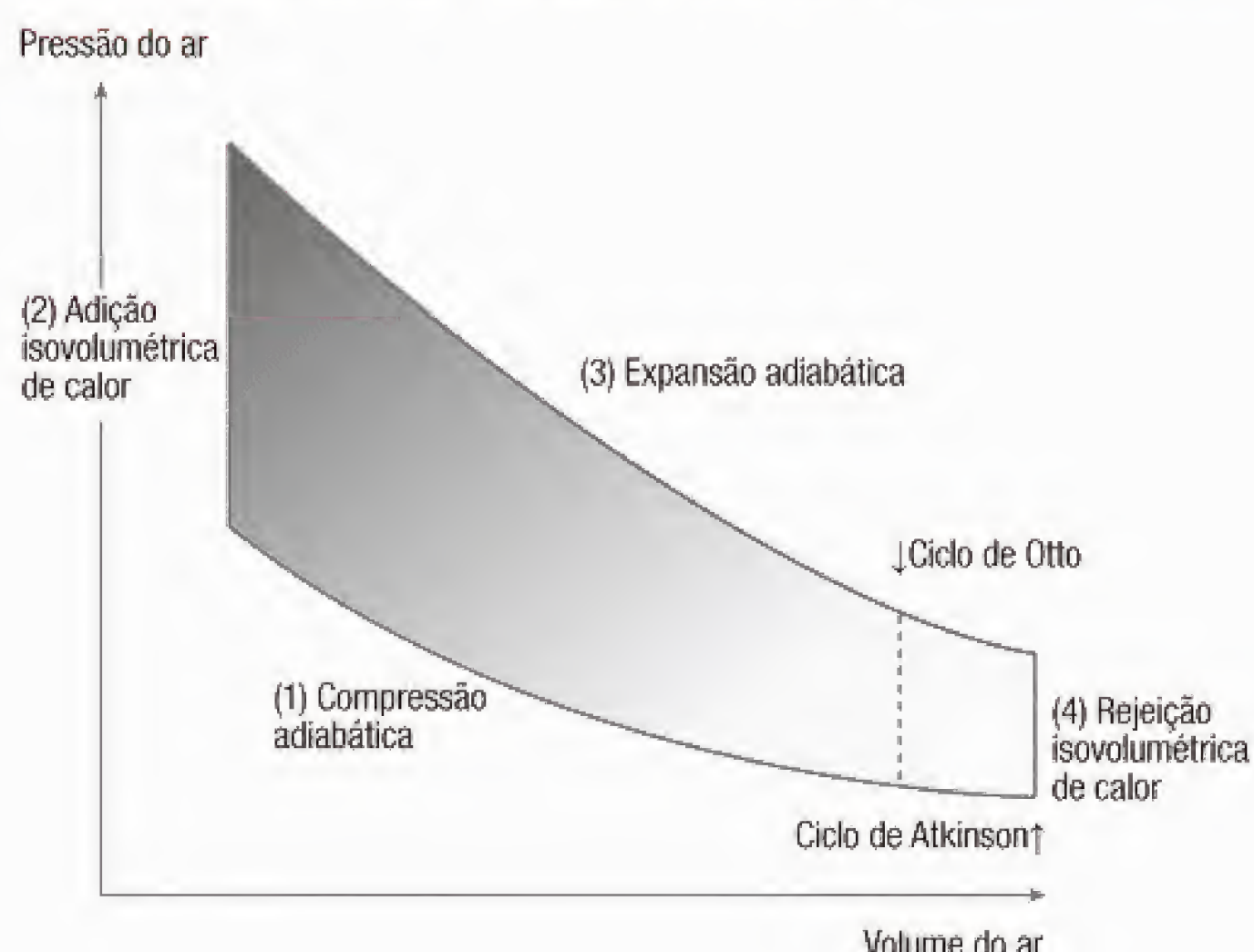
O ciclo de Atkinson usa o mesmo ciclo termodinâmico que o ciclo de Otto e aumenta o produto do trabalho, tornando o processo de expansão mais longo. Desenvolvido com o objetivo de criar um motor que não cause muita mudança irreversível, o ciclo de Atkinson é um ciclo termodinâmico que passa pelo processo de estender a mudança adiabática de 1 e 3 e reduzir a rejeição isobárica de calor do

processo de mudança irreversível em 4. Observe que a expansão adiabática de alta temperatura e a compressão adiabática de baixa temperatura nunca se cruzarão, então há uma necessidade de que um ciclo isovolumétrico aja como um condutor. De modo semelhante, ao otimizar a eficiência dos motores em outras máquinas, pode-se dizer que todo o foco é colocado em "impedir a mudança irreversível".


Diagrama 3-7-2

Ciclo de Atkinson

O ciclo de Atkinson é um ciclo termodinâmico que estende o processo adiabático e diminui a rejeição isobárica de calor



Instalado no híbrido Honda Accord está o motor i-VTEC DOHC de ciclo de Atkinson de 2 litros



Até mesmo os fenômenos mais complexos são controlados pelas regras mais simples



4 Teoria de Bernoulli

1 ► Relatividade da velocidade e pressão do fluido

Como o ar que cerca o automóvel afeta seu desempenho? Para responder a essa pergunta precisamos entender a

teoria da aerodinâmica. Nesta seção, apresentaremos os fundamentos da aerodinâmica.

■ Movimento molecular na presença de fluxo (corrente)

Na seção anterior, explicamos que a medida da pressão será a mesma independentemente da direção em estado de equilíbrio. Uma perspectiva macroscópica nos mostra que o incontável número de moléculas se movendo de forma desordenada está na verdade se chocando uniformemente em todas as direções. Em termos de energia, pode-se dizer que a energia cinética das moléculas se dispersa uniformemente. Isso é chamado de lei da equiparação da energia (que daqui em diante chamaremos de equiparação).

Porém, se houver um fluxo ao movimento das moléculas, a equiparação se torna inválida. Haverá mais energia cinética na direção do fluxo e menos energia cinética nas outras direções. Se a pressão for medida no fluxo, a pressão medida na direção do fluxo será mais alta, enquanto a pressão perpendicular ao fluxo será mais baixa.

Devemos observar que a soma da energia cinética antes e depois de uma mudança na direção do fluxo não será alterada. Por exemplo, se uma corrente de fluxo ocorresse de um estado de equilíbrio, a soma da energia cinética depois da ocorrência do fluxo e a soma em estado de equilíbrio seriam iguais. Em outras palavras, quando ocorre uma mudança na taxa de fluxo, a dispersão da energia cinética muda, mas a soma da energia cinética total não muda.

Diagrama 4-1-1 Movimento das moléculas. Se há um fluxo para o movimento das moléculas, a pressão mais alta fica na direção do fluxo, e a pressão mais baixa fica no ponto perpendicular à direção do fluxo

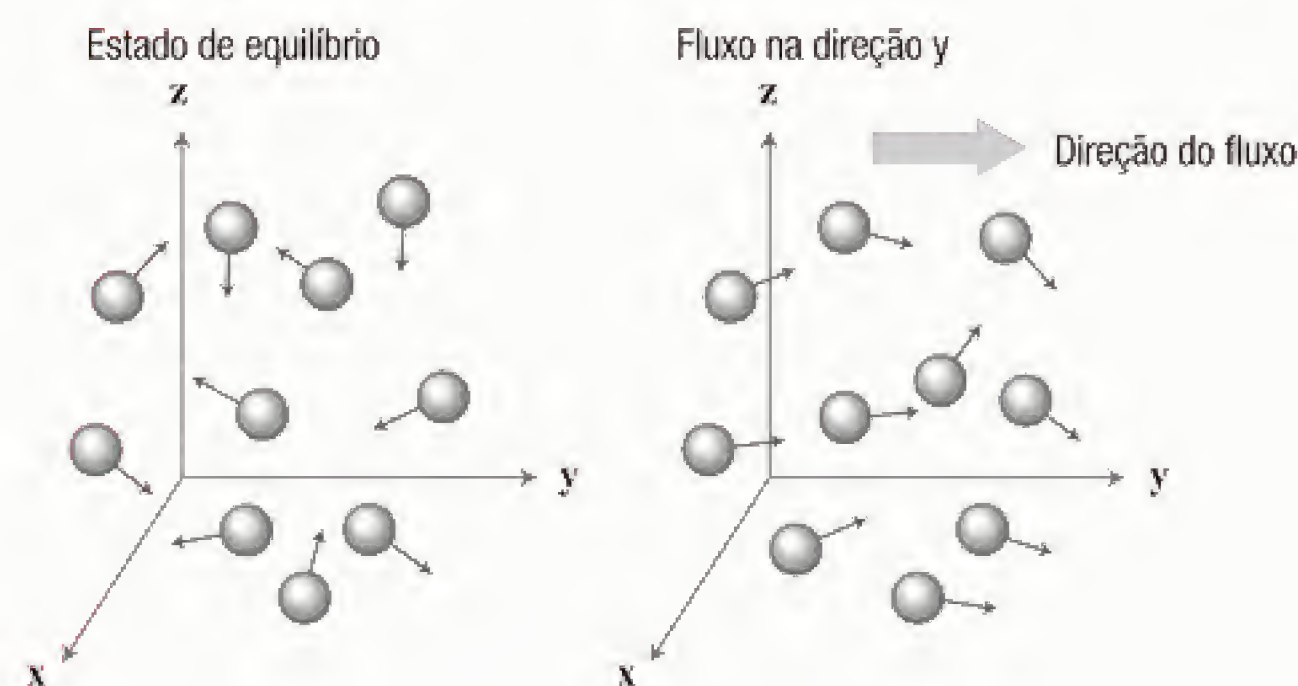
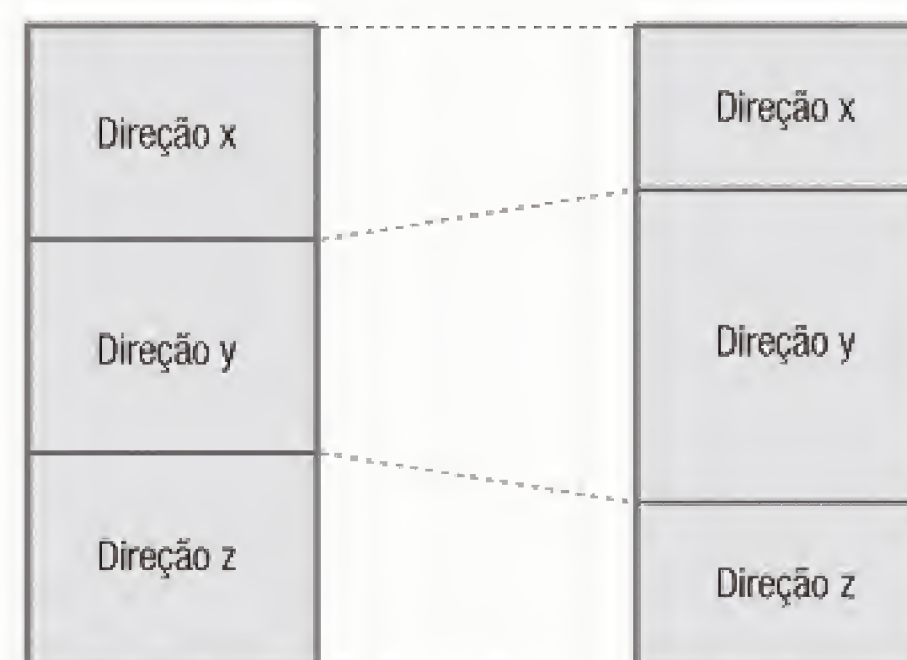
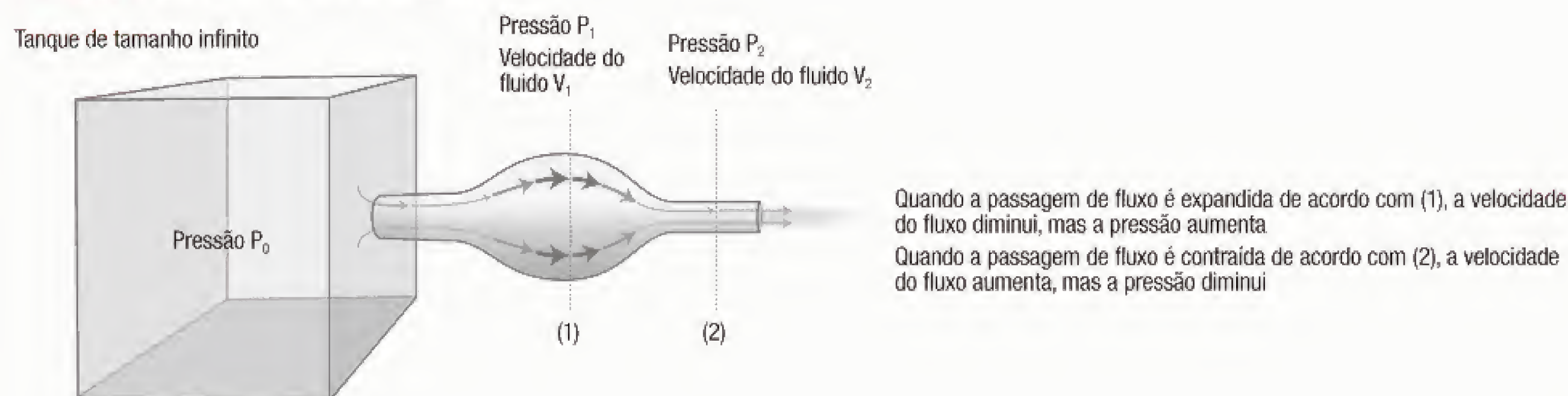


Diagrama 4-1-2 Dispersão da energia cinética molecular



A soma da energia cinética não se altera mesmo quando a direção do fluxo se altera

Diagrama 4-1-3 Exemplo da teoria de Bernoulli



Teoria de Bernoulli

A teoria de Bernoulli define a relação entre a velocidade do fluxo e a pressão, quando a dissipação de energia ocorre em função da mudança no fluxo. A teoria de Bernoulli pode ser expressa matematicamente como mostrado abaixo.

Aqui, P é a pressão, ρ é a densidade do fluido e V é a velocidade do fluido. Bernoulli havia reconhecido a relação

$$P_0 = P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

Mecanismo gerador de elevação

Esta seção explicará o mecanismo de como um aerofólio gera elevação usando a teoria de Bernoulli.

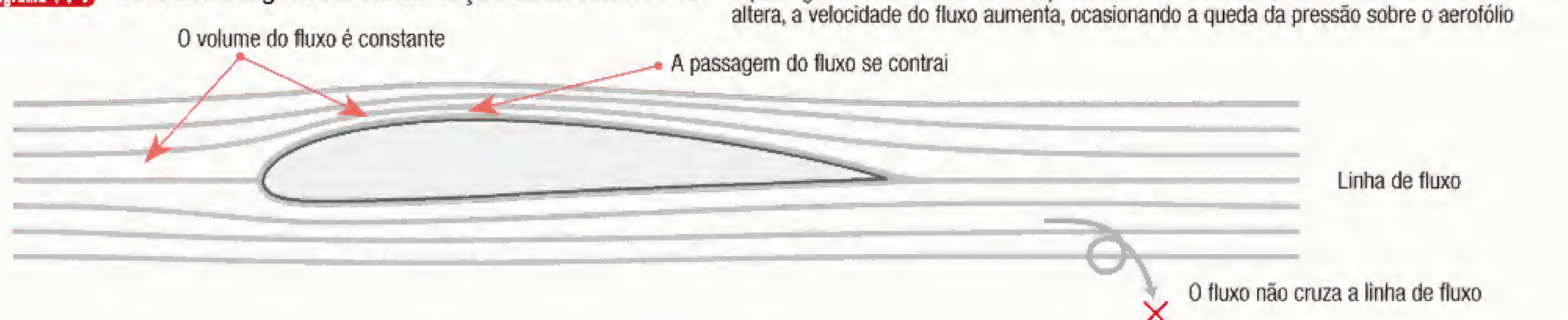
O diagrama 4-1-4 ilustra a linha de fluxo ao redor do aerofólio. Uma linha de fluxo é uma curva baseada na linha de tangente do vetor de velocidade. É a linha de fluxo ou o fluxo laminar. A definição da linha de fluxo afirma que um fluxo não atravessa a linha de fluxo, portanto, uma área que está entre a mesma linha de fluxo terá o mesmo volume de fluxo em qualquer parte do fluxo. Observe que o local onde o fluido existe é chamado de um campo de fluxo.

Observando o campo de fluxo no diagrama 4-1-4, vemos que a linha de fluxo na frente do aerofólio está espaçada uniformemente, mas podemos ver que o espaçamento da

entre a velocidade e a pressão do fluxo a partir do conceito “vis viva” (latim para “força viva”), que é um conceito muito semelhante ao da energia. Porém, acredita-se que ele não tinha uma compreensão total da relação entre a pressão e a velocidade. A pessoa que deu à teoria de Bernoulli um significado matemático completo e correto foi seu amigo, Leonhard Euler.

linha de fluxo está contraída na parte de cima do aerofólio. Como o fluxo não cruzará a linha de fluxo, podemos presumir que a passagem do fluxo está limitada na parte de cima do aerofólio. No entanto, já que o volume do fluxo em uma passagem de fluxo entre as mesmas linhas de fluxo não é alterado, a velocidade do fluxo acima do aerofólio, onde o caminho do fluxo é limitado, deve aumentar. Então, se o caminho do fluxo estiver limitado, a velocidade do fluxo na parte de cima do aerofólio deve acelerar. Portanto, de acordo com a teoria de Bernoulli, a pressão na parte de cima do aerofólio deve diminuir proporcionalmente ao quadrado da velocidade do fluxo. Todavia, se o fluxo abaixo do aerofólio expandir, a velocidade do fluxo diminuirá e a pressão aumentará. Essa diferença de pressão entre a superfície superior e inferior do aerofólio é o que gera a elevação.

Diagrama 4-1-4 Mecanismo gerador de elevação de um aerofólio



4 Lei do movimento do fluido

2 ► O significado da equação do movimento do fluido

■ Equação de Euler (não considerava a viscosidade)

A primeira pessoa a derivar a equação de movimento do fluxo foi Euler, que também havia formulado a teoria

de Bernoulli. Em termos de avanços da hidrodinâmica, essa revelação foi muito mais importante que a teoria de Bernoulli. A equação do movimento que Euler deduziu é chamada de equação de Euler, e é mostrada a seguir.

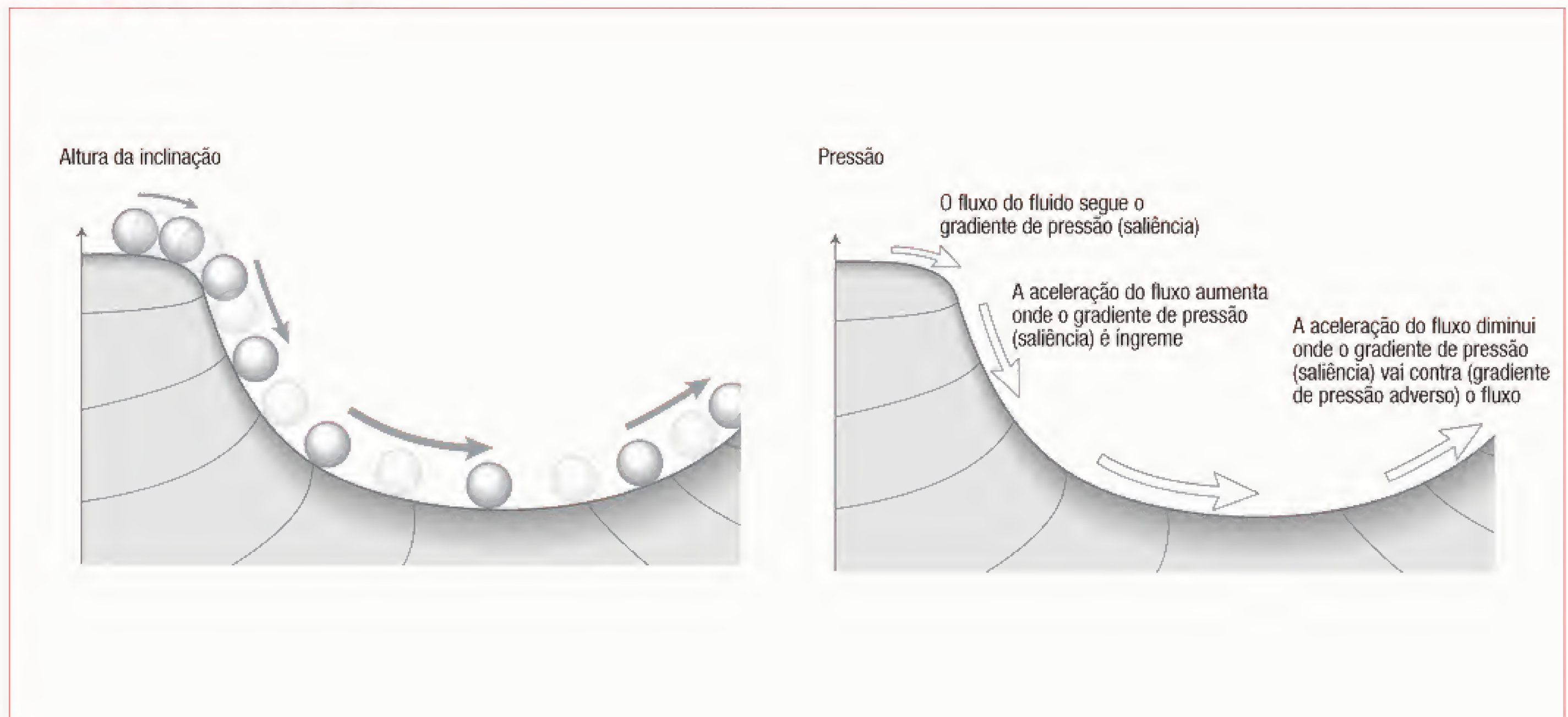
$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla P$$

O lado esquerdo da equação é chamado de advectivo ou convecção, e representa o efeito de advecção do fluido, ou seja, o efeito causado pelo fluxo do fluido. O lado direito é chamado de termo de pressão, expressando o gradiente (saliência) da pressão. Em resumo, Euler afirma que “o fluido flui de acordo com o gradiente de pressão”.

Um bom exemplo de um gradiente de pressão seria um gráfico meteorológico de distribuição de pressão. Durante o inverno do Japão, ar frio e seco flui vindo do continente

eurasiano, porque o gradiente de pressão ao redor do Japão é alto no oeste e baixo o leste. Se as linhas de pressão ficarem acumuladas, isso significa que o gradiente de pressão é substancialmente íngreme; portanto, os ventos nessas áreas são fortes. Se as linhas de pressão estiverem espaçadas, mostrando um gradiente de pressão suave, pode-se prever que os ventos nessas áreas será fraco. Essa compreensão intuitiva do fluxo é o que a equação de Euler formulou com êxito.

Diagrama 4-2-1 Gradiente de pressão



DICAS

A equação do movimento para o fluido com viscosidade zero é chamada de equação de Euler. A equação discutida acima se refere a fluidos não comprimidos sem considerar a mudança na densidade. Euler também formulou uma equação de movimento para o fluido comprimido.

■ Equação de Navier-Stokes (considerava a viscosidade)

A equação de Euler expressava uma fórmula matemática para o efeito do fluxo do fluido e sua relação com a pressão; porém, ela não expressa os efeitos da viscosidade, uma

propriedade importante dos fluidos na vida real. A equação do movimento que considerava os efeitos da viscosidade foi deduzida no século XIX por Claude-Louis Navier e George Gabriel Stokes. A equação de Navier-Stokes está expressa a seguir.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla P + \nabla \cdot \tau$$

Idêntico à equação de Euler, o lado esquerdo da equação é um termo advectivo (convecção), que representa o efeito de advecção do fluido. A primeira variável à direita da equação é o termo de pressão (acima), que expressa o gradiente da pressão. A segunda variável a ser adicionada é chamada de viscosidade ou termo de difusão, e expressa a propriedade da

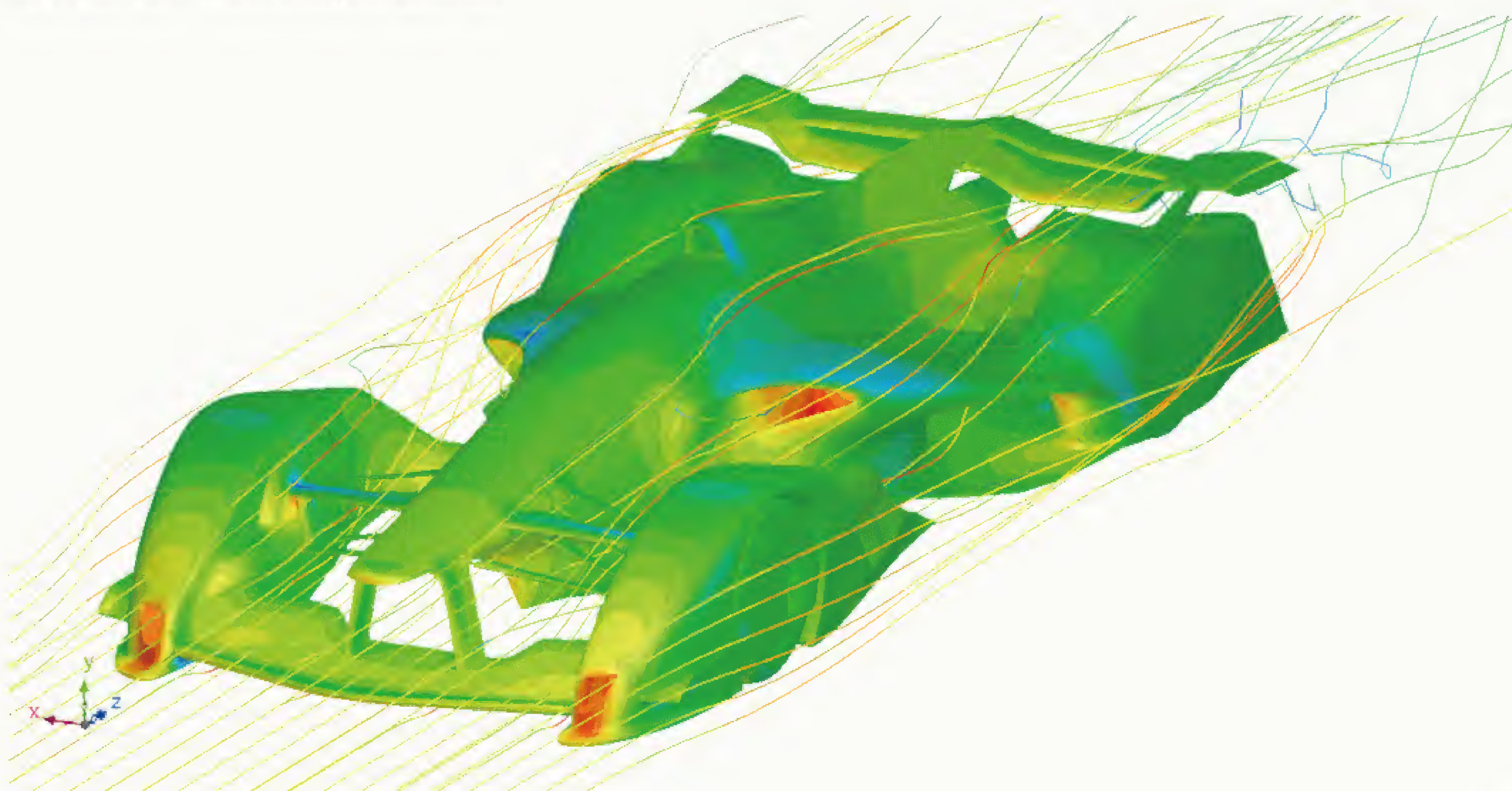
viscosidade. Em resumo, a equação de Navier-Stokes afirma que “o fluido flui de acordo com o gradiente de pressão, mas a viscosidade também tem um efeito no momento do fluido”. A equação de Navier-Stokes vale para fluidos não comprimidos e não considera mudanças na densidade.

DICAS

Tanto para a equação de Euler quanto para a de Navier-Stokes, uma solução generalizada ainda precisa ser encontrada. As equações só podem ser aplicadas a correntes (fluxos) muito específicas e especializadas. Para aplicar essas equações aos campos de fluxo gerais, um computador precisa ser usado para solucionar as equações numericamente. A equação de Navier-Stokes não é somente um tópico de pesquisa importante na hidrodinâmica, mas também é um modelo matematicamente

importante usado na pesquisa de equações diferenciais parciais não lineares. Em 2000, o Instituto Clay de Matemática, nos Estados Unidos, ofereceu um prêmio de um milhão de dólares a quem solucionasse algum dos sete problemas matemáticos não resolvidos, também conhecidos como os problemas do milênio (Prêmio do Milênio). Um dos sete problemas não resolvidos era provar a existência de uma solução para a equação de Navier-Stokes, provando assim o conceito da suavidade.

Solução gerada por computador da equação de Navier-Stokes



4 Plano de descontinuidade e filamento do vórtice

3 ► Estratégia de anulação da equação do movimento dos fluidos

Embora tanto a equação de Euler quanto a de Navier-Stokes expressem corretamente o movimento dos fluidos, devido a dificuldades matemáticas extremas, elas não podem

ser aplicadas praticamente ao fluxo real do fluido. Como uma solução parecia distante, uma abordagem analítica foi feita sem o uso dessas equações conhecidas.

■ Paradoxo de d'Alembert

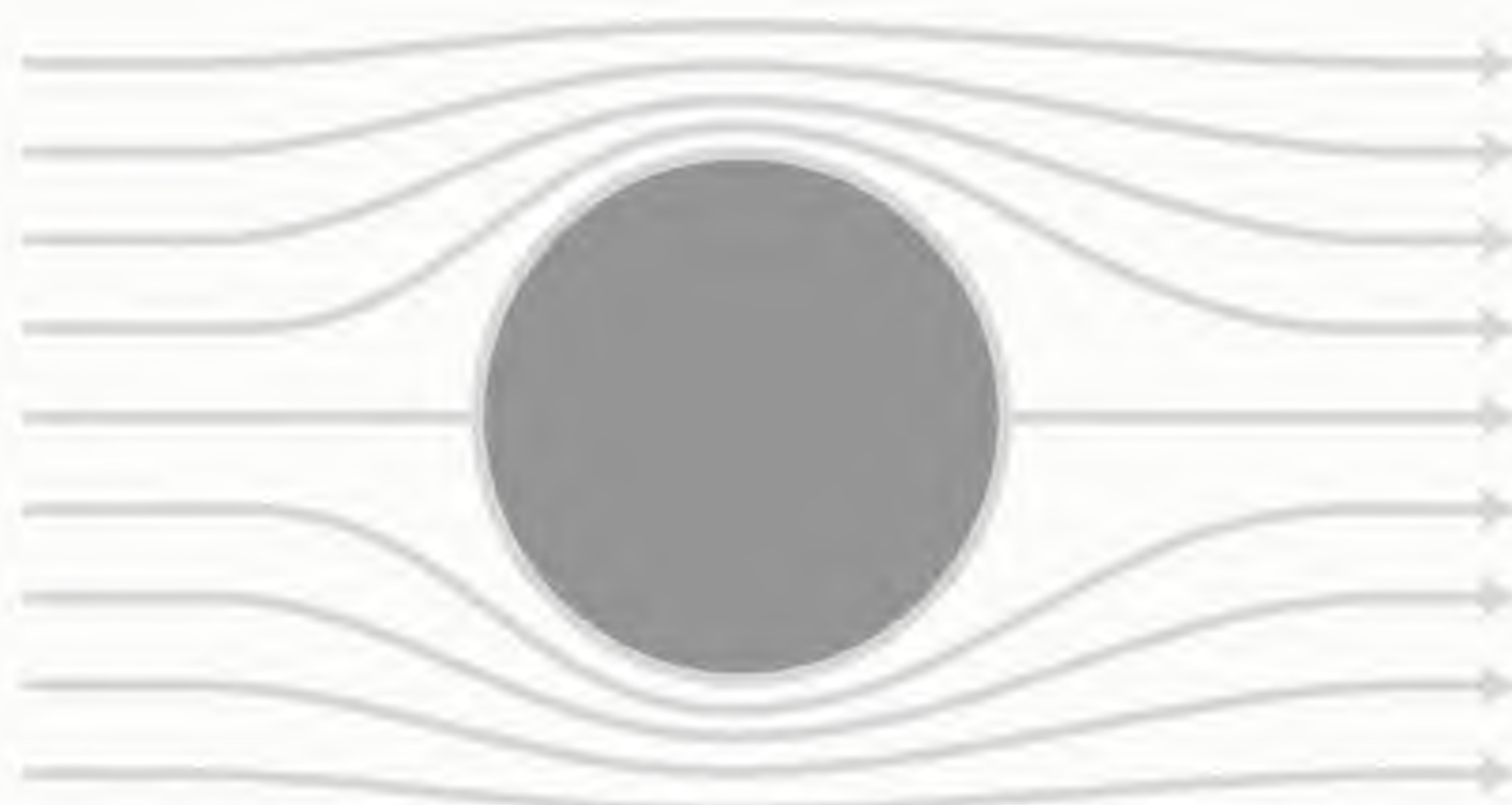
D'Alembert, que conhecia Bernoulli e Euler, buscou a solução teórica ao arraste (uma força que ocorre paralela à velocidade do fluxo na direção contrária) criada por um cilindro circular colocado em um plano bidimensional uniforme no fluxo. Porém, a solução que ele deduziu foi zero, enquanto o arraste na realidade nunca poderia ser zero. Não havia erros de cálculo em sua fórmula e a mesma resposta de zero foi repetida por todos que tentaram. Nos 160 anos seguintes, a equação se tornou um dos maiores problemas na hidrodinâmica, e logo passou a ser conhecida como “paradoxo de d'Alembert”.

Com o conhecimento de hoje, podemos entender que

nenhum dos cálculos de d'Alembert estava incorreto, e que a resposta que deduziu era lógica, pois a equação não considerou a viscosidade do fluido. Em condições de fluxo uniformes e estáveis, onde viscosidade não é um fator, o fluxo na frente e atrás do cilindro circular se tornaria simétrica. Portanto, a pressão na frente e atrás também seria simétrica, anulando-se mutuamente e resultando em um arraste de zero.

Na época, a equação de Navier-Stokes ainda não tinha sido descoberta, por isso, a aplicação da viscosidade não era clara. O paradoxo de d'Alembert só foi resolvido em 1904, por Ludwig Prandtl com a introdução do conceito de camada limite.

Diagrama 4-3-1 Paradoxo de d'Alembert



Como o fluxo é simétrico em relação ao centro do cilindro, o arraste é 0.

DICAS

Os conceitos dos filamentos de vórtice e das superfícies descontínuas expandiram-se para vários campos da força de elevação: teoria circulatoria, teoria da camada limite e a teoria da linha de elevação, que serão discutidas nas seções a seguir. O vórtice na hidrodinâmica é diferente da imagem geral de uma espiral. Na hidrodinâmica, um vórtice é definido como uma forma do movimento, o de uma rotação rigidamente restrita.

O conceito do filamento de vórtice e o plano de descontinuidade

O precursor da forma de entender o movimento do fluido mecanicamente foi o físico alemão Hermann von Helmholtz. Ele expandiu o conceito de vórtice para inventar uma nova compreensão do fluxo.

Pense em um elemento fluido fluindo da esquerda para a direita, como o diagrama 4-3-2. Quando a superfície do elemento fluido está exposta ao estresse de cisalhamento (uma força que opera para cortar um material; veja 2-1), surge uma diferença na velocidade do elemento fluido que se desloca através da superfície. Como resultado disso, o elemento fluido começa a girar, criando um vórtice. Um vórtice como esse, em seção cruzada, teria a aparência de filamentos conceituais de um tamanho mínimo. Esses são chamados de filamentos de vórtice. Uma camada criada com o acúmulo desses filamentos de vórtice é chamada de camada de vórtice.

Ao implementar o conceito dos filamentos de vórtice, como ilustrado no diagrama 4-3-3, os planos descontínuos da velocidade, que ocorrem quando fluxos de diferentes velocidades se mesclam (um plano no qual a continuidade do valor muda drasticamente) e as camadas limítrofes nas quais a velocidade do fluido muda dramaticamente ao redor dos objetos podem ser tratados em termos matemáticos. Esse fluxo pode ser interpretado como sendo formado pelo movimento rotacional dos elementos fluidos finos, portanto, aplicando a mesma abordagem matemática já existente para um vórtice.

Quando Helmholtz apresentou os conceitos dos filamentos de vórtice e camadas de vórtice, pareceu surgir uma esperança de resolver o maior mistério do século, o paradoxo de d'Alembert. Logo depois de Helmholtz ter apresentado o conceito de descontinuidade da superfície, Kirchhoff e Rayleigh começaram a calcular a força de arraste em uma superfície plana. De acordo com o paradoxo de D'Alembert, a força de arraste em uma superfície plana é zero. Porém, se, hipoteticamente, uma superfície descontínua existir entre as bordas da frente e de trás do plano, pode-se presumir que a superfície oposta tem uma velocidade de fluido menor, anulando a existência do paradoxo de d'Alembert. Infelizmente, as tentativas de Kirchhoff e Rayleigh falharam, pois suas estimativas de pressão na superfície oposta hipotética da superfície plana eram muito altas; pelo menos, eles estavam na direção certa.

Diagrama 4-3-2 O conceito do filamento de vórtice e a camada de vórtice. Para melhor ilustrar o conceito dos filamentos de vórtice, dizemos que eles são criados com um determinado tamanho; porém, uma área de corte cruzado de um filamento de vórtice é infinitesimal

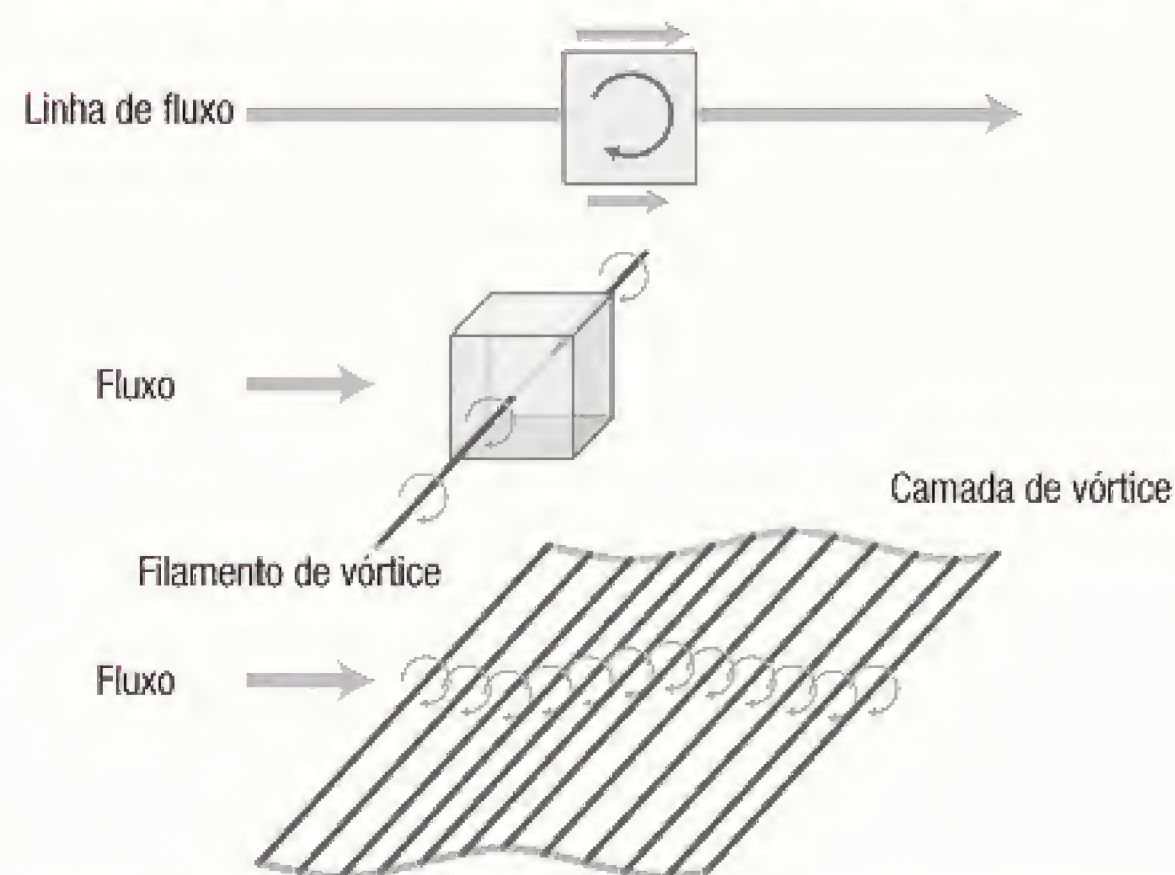


Diagrama 4-3-3 A diferença na força das velocidades alta e baixa em uma superfície descontínua

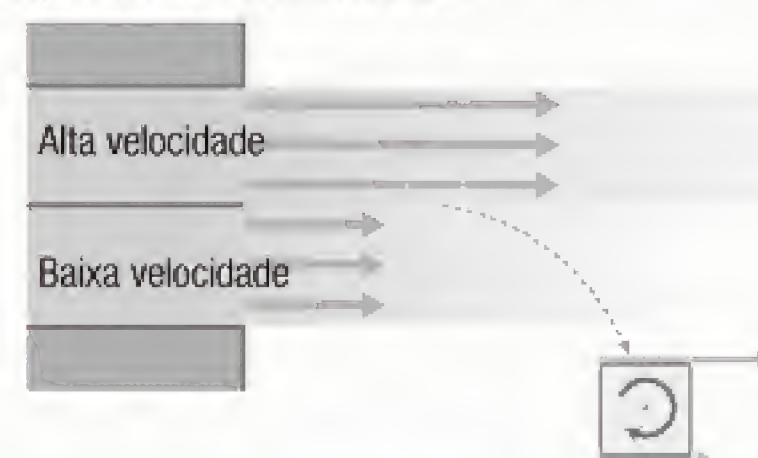
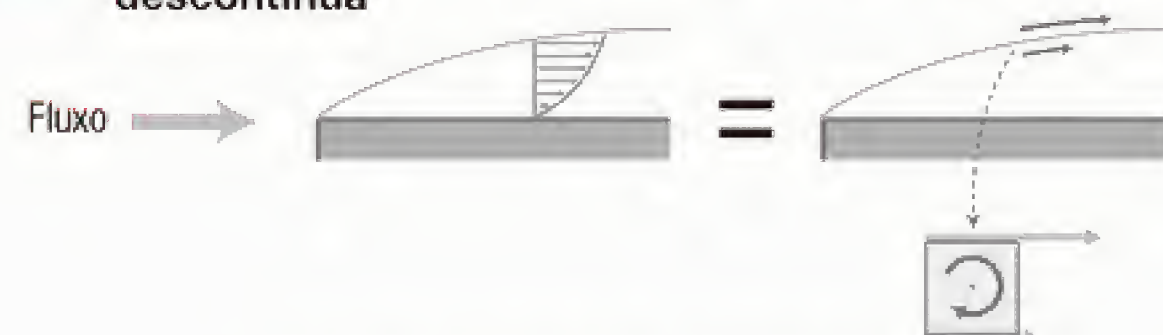


Diagrama 4-3-4 Aplicação do conceito de filamento de vórtice (camada de vórtice) à velocidade do fluxo da superfície descontínua



A camada limite pode ser considerada como parte da velocidade do fluxo para a superfície descontínua

Diagrama 4-3-5 Diagrama conceitual de um campo de fluxo ao redor de uma superfície plana. Se pudéssemos presumir que os planos descontínuos das bordas anterior e posterior de uma superfície plana existem, então o paradoxo de d'Alembert não estaria em questão



4 Teorema de Kutta-Zhukovsky

4 Teoria da circulação da elevação

Kirchhoff e Rayleigh formularam a hipótese de que a superfície descontínua se forma ao redor da parte do ângulo agudo. Dito isto, essa superfície descontínua pode ser formada a partir de qualquer lugar na superfície de um

objeto, e uma hipótese de que a superfície de um objeto é coberta com camadas de vórtice também pode ser criada. Na verdade, a teoria da elevação está significativamente relacionada à teoria da circulação da elevação.

Teorema de Kutta-Zhukovsky

A velocidade do fluxo muda dramaticamente devido à viscosidade na superfície de um objeto, fazendo com que os filamentos de vórtice se tornem camadas de vórtice que envolvem a superfície do objeto. A força dessas camadas de vórtice que cobrem a superfície do objeto é chamada de “circulação”. Com isso, o fluxo ao redor do perímetro do material pode ser separado em dois fluxos artificiais, um é o fluxo uniforme (corrente) e o outro é o fluxo circular (de uma perspectiva diferente, a circulação é a quantidade derivada da integração da velocidade do fluxo juntamente com a curva horizontal selecionada arbitrariamente).

Como discutido no parágrafo anterior, com base na existência de um fluxo uniforme e de um fluxo de circulação, consideremos um fluxo com os dois tipos ocorrendo simultaneamente se sobrepondo um ao outro. Neste exemplo, a parte superior do fluxo de circulação flui na mesma direção

que o fluxo uniforme, por isso, a velocidade do fluxo na parte superior aumenta. Por outro lado, o fluxo de circulação na parte inferior flui na direção contrária ao fluxo uniforme, então, quando sobreposta, a velocidade do fluxo diminui. Assim, de acordo com a teoria de Bernoulli, a pressão diminui na parte superior, enquanto a pressão diminui na parte inferior do fluxo de circulação, geração assim uma elevação para cima. (Diagrama 4-4-1).

Este modelo se assemelha ao campo de fluxo que cerca um aerofólio. O aerofólio é feito de forma a corresponder à elevação da velocidade do fluxo na superfície superior, o que diminui a pressão, e a diminuição na velocidade do fluxo na superfície inferior aumenta a pressão. O campo de fluxo ao redor do aerofólio pode ser considerado uma sobreposição do fluxo uniforme e do fluxo de circulação e, se há circulação, a elevação pode ser calculada com a equação a seguir (Diagrama 4-4-2).

$$\text{Elevação} = \text{densidade do fluxo} \times \text{velocidade do fluxo uniforme} \times \text{circulação do vórtice} (L = \rho V \Gamma)$$

Essa teoria foi introduzida independentemente por Martin Wilhelm Kutta e Nikolai Zhukovsky, sendo chamada de teoria de Kutta-Zhukovsky. Essa teoria diz que,

independentemente da forma e do tamanho do objeto, se há circulação, a elevação do objeto pode ser determinada.

Diagrama 4-4-1 Campo do fluxo sobrepondo o fluxo uniforme e o fluxo de circulação

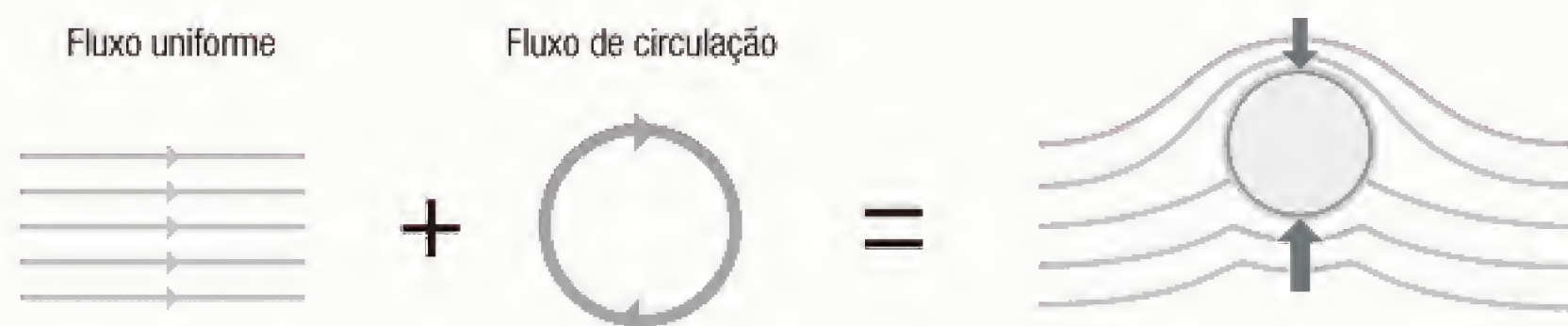
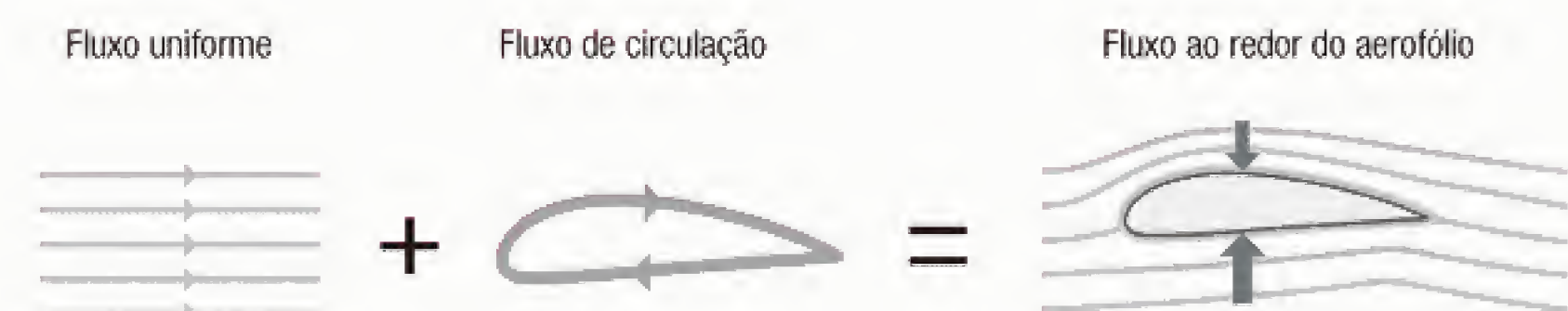


Diagrama 4-4-2 Pode-se dizer que o campo do fluxo ao redor de um aerofólio é uma combinação de fluxo uniforme e do fluxo de circulação



■ | Condição de Kutta

A partir da teoria de Kutta-Zhukovsky, descobrimos que a elevação de um objeto pode ser calculada se a circulação ao redor do objeto for conhecida. Porém, para implementar essa teoria em um aerofólio, um fator precisa ser considerado. De maneira geral, a equação do fluido se baseia no conceito de que o fluxo é suave, e essa consideração especial precisa ser levada em consideração se o objeto for agudo ou o fluxo descontinuo.

Quando um aerofólio é tomado como exemplo, a borda posterior do aerofólio é aguda. Assim, a menos que o fluxo

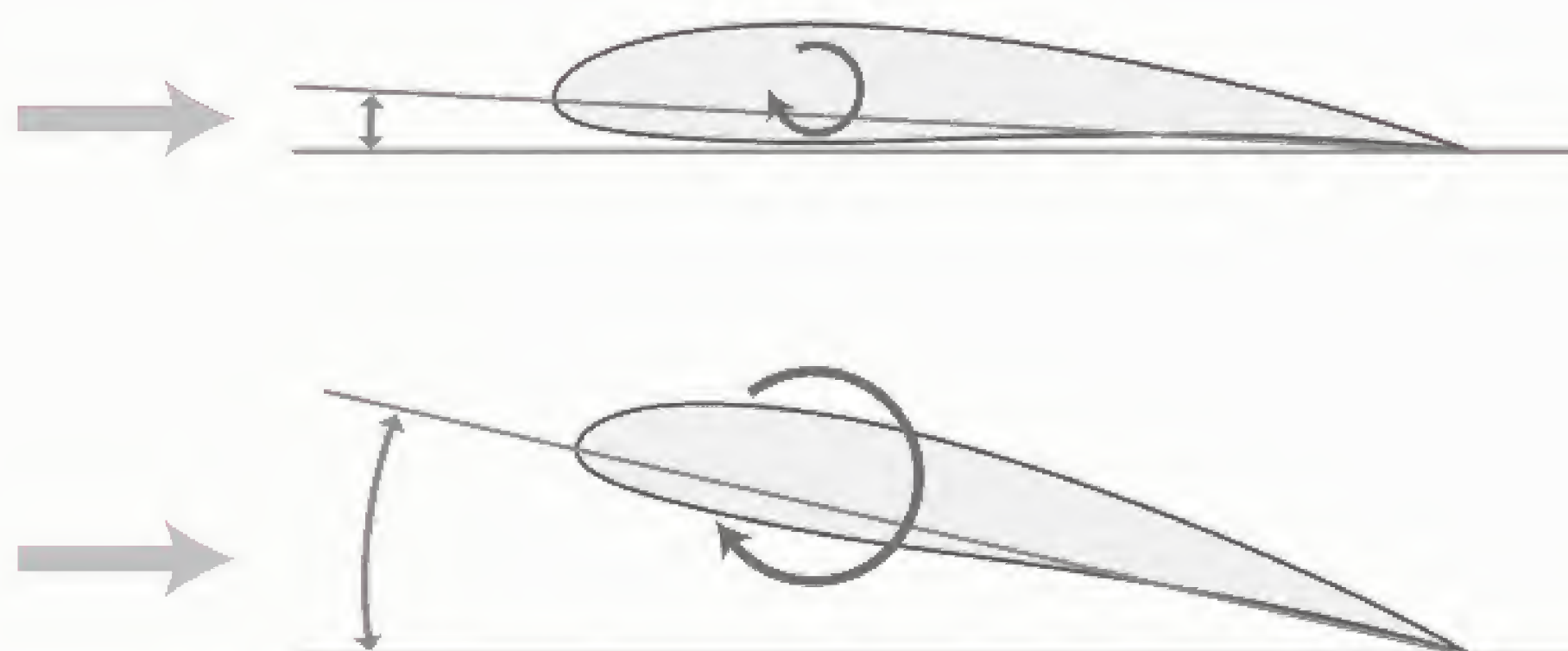
sobre a parte superior e o fluxo sob o aerofólio possa convergir suavemente na borda posterior, a teoria de Kutta-Zhukovsky não pode ser aplicada a um aerofólio. Essa condição necessária de que o fluxo superior e inferior deve convergir suavemente é chamada de condição de Kutta. Aplicando-se a condição de Kutta, a circulação pode ser determinada e a elevação pode ser calculada matematicamente.

Se um ângulo de ataque é definido em um aerofólio em relação ao fluxo, quanto maior o ângulo, mais circulação é necessária para atender à condição de Kutta. Então, quanto maior o ângulo de ataque, maior a circulação, logo, maior elevação é criada naturalmente.

Diagrama 4-4-3 Condição de Kutta e circulação



Condição de Kutta: O fluxo na parte superior e inferior do aerofólio converge na borda posterior suavemente e na mesma velocidade



Quanto maior o ângulo de ataque, mais circulação é necessária para atender à condição de Kutta

4 Teoria da camada limite de Prandtl

5 ► O atrito afeta somente os arredores da superfície de um objeto

Embora os cálculos de arraste de Kirchhoff e Rayleigh não tenham tido êxito, eles estavam no caminho certo. Aqui

apresentaremos a teoria da camada limite de Prandtl, que finalmente solucionou o paradoxo de d'Alembert.

Teoria da camada limite de Prandtl

Para estimar corretamente o arraste, é importante saber a pressão e a forma como a força de atrito é manipulada. Para compreender a força de atrito, é necessário conhecer corretamente a condição do fluxo na superfície do objeto. Porém, a fim de calcular adequadamente a força de atrito, a questão sobre a probabilidade de que um fluido possa aderir completamente à superfície de um objeto quando a velocidade do fluido é zero, ou de que o fluido deslize sobre a superfície em uma determinada velocidade, permanece sem resposta.

Ludwig Prandtl abordou essa questão difícil sendo o primeiro a aplicar o conceito de camada limite. Ele descobriu que, se os efeitos da viscosidade resultavam em uma velocidade de fluxo na superfície de um objeto sendo zero, os efeitos do atrito afetavam somente os arredores da superfície do objeto. Fora, o fluxo não é afetado pela viscosidade e poderia ser definido como um fluxo invíscido. A área ao redor da superfície do objeto afetada pela viscosidade é atualmente

conhecida como camada limite.

Em 1904, Prandtl publicou um artigo curto de 8 páginas intitulado “Flussigkeitsbewegung Bei Sehr Kleiner Reibung” (Fluxo de fluido com muito pouco atrito), no qual apresentou o conceito de camada limite. Ele aplicou a equação de Navier-Stokes a somente um fluxo específico na camada limite. O que levou ao nascimento da equação da camada limite, uma derivativa simplificada da equação de Navier-Stokes. Essa equação era muito mais fácil de operar que a equação de Navier-Stokes completa e permitia um cálculo mais lógico e preciso do arraste.

A teoria da camada limite também ajudou a estimar melhor o ponto de esfoliação do fluxo (desengate). Com essas conclusões, o paradoxo de d'Alembert foi finalmente solucionado com a teoria da camada limite de Prandtl. O artigo de 1904 de Prandtl expandiu o escopo da hidrodinâmica e é hoje considerado um dos artigos mais importantes na história da área.

Diagrama 4-5-1 Distribuição da velocidade da camada limite da superfície de um aerofólio. O alcance da camada limite é definido como menos que 99% da velocidade do fluido fora da área da superfície do objeto

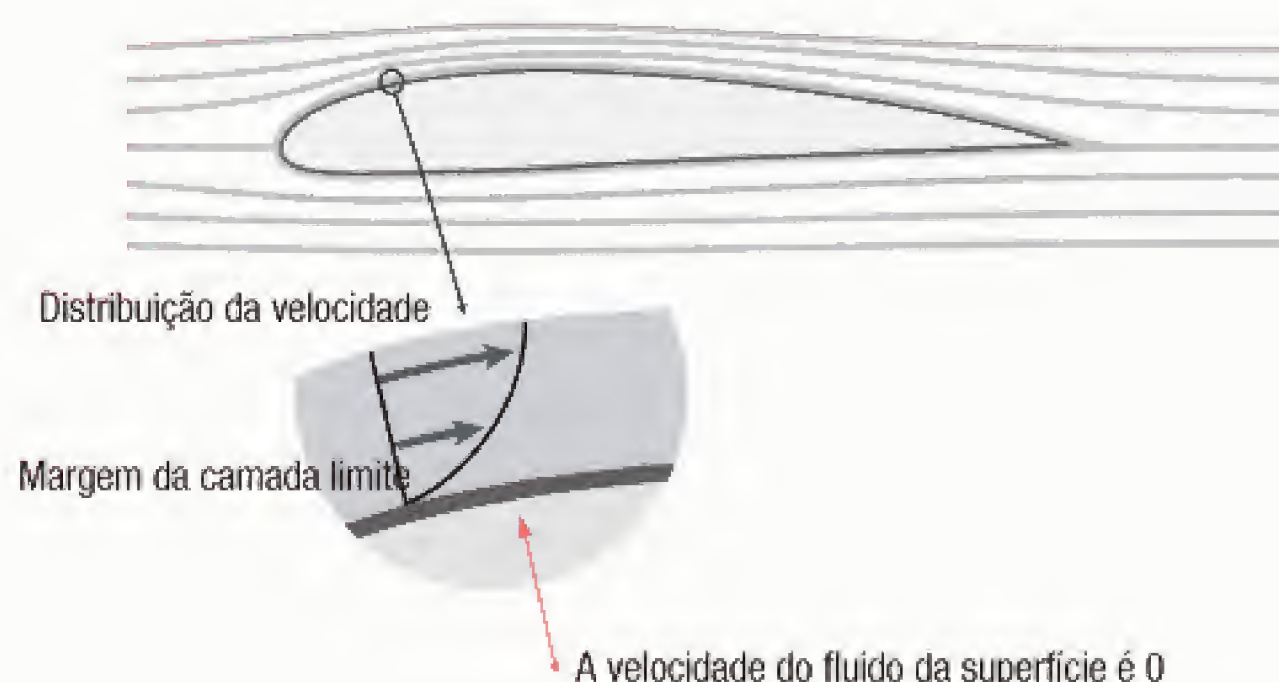


Diagrama 4-5-2 O ponto de esfoliação em um aerofólio e a distribuição da velocidade em uma camada limite

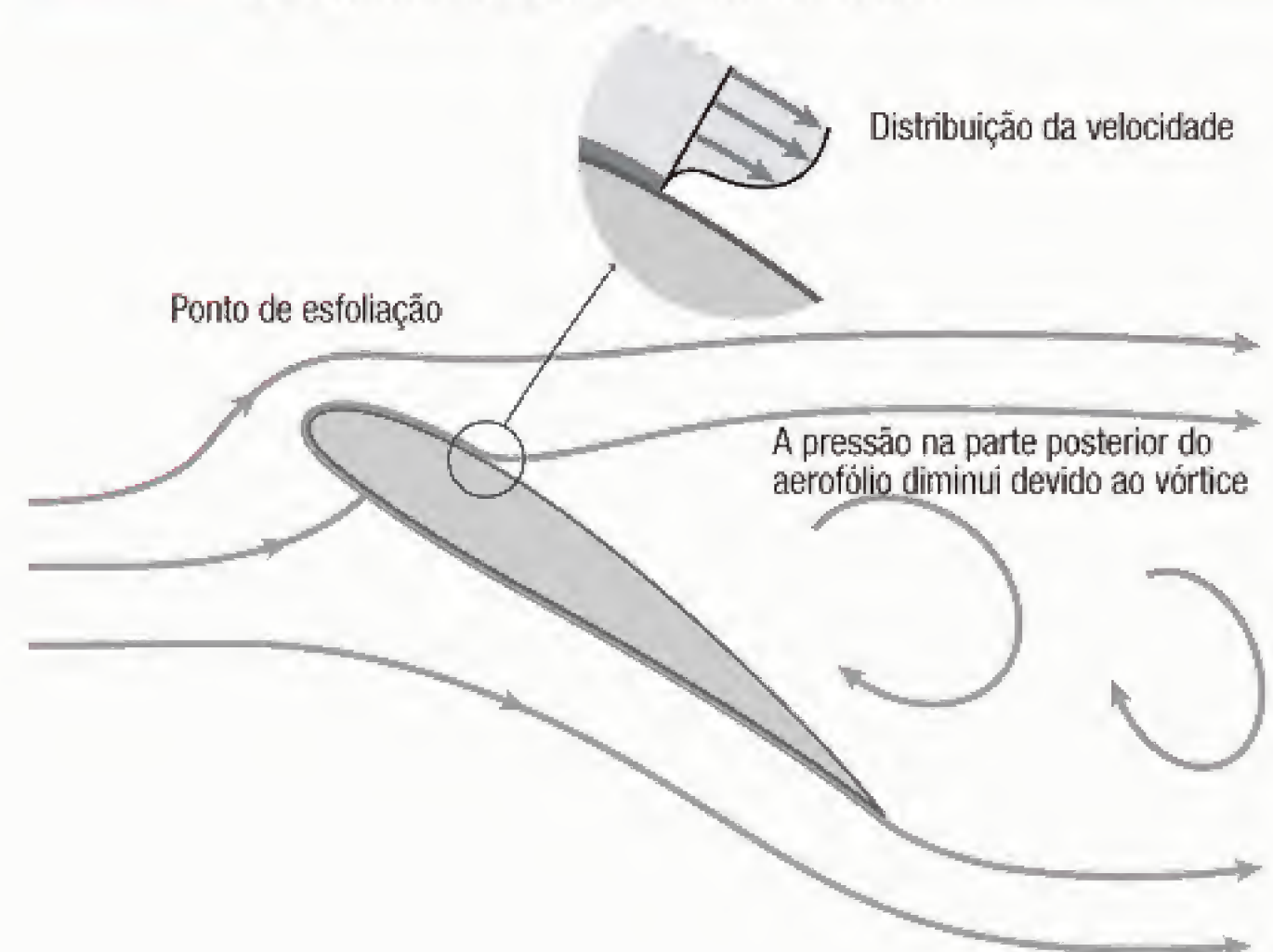
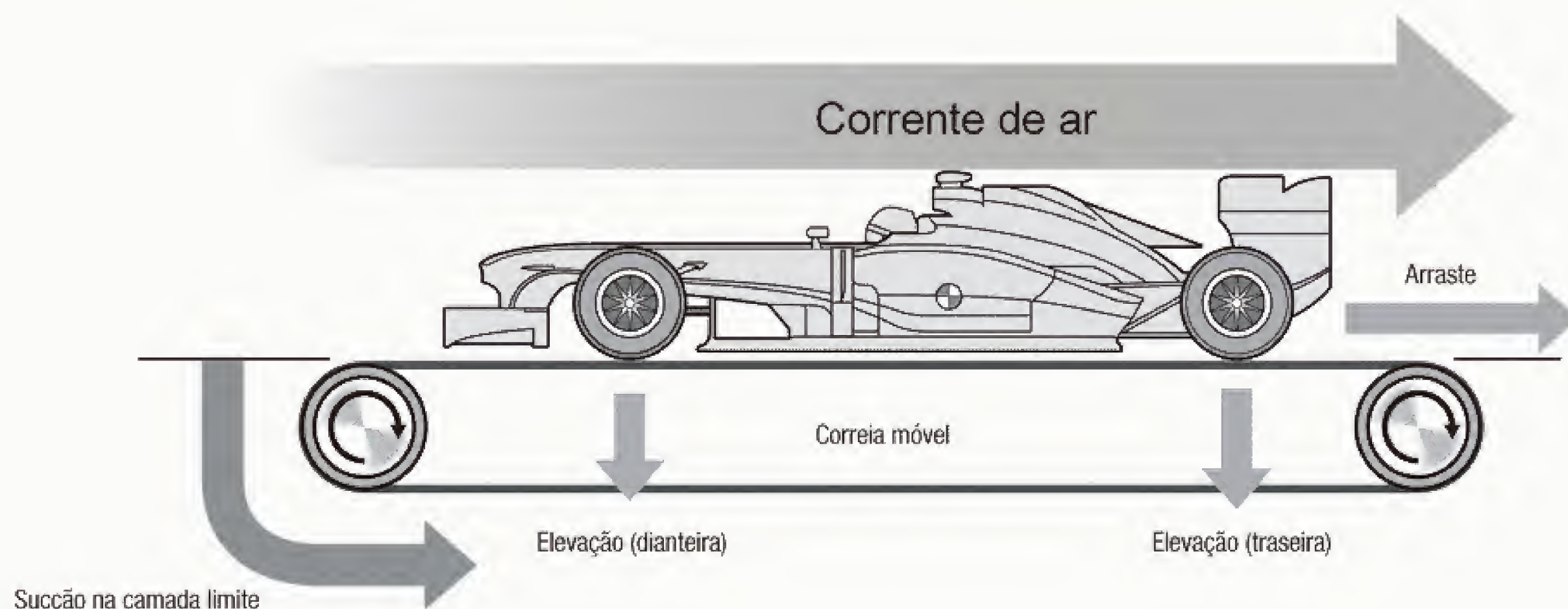


Diagrama 4-5-3 Um veículo que se desloca em terra é significativamente afetado pelo solo em termos aerodinâmicos. Em um ambiente a céu aberto natural, uma camada limite existiria ao redor da área da superfície sob o veículo. Porém, em um teste de túnel de vento, as camadas limítrofes são formadas ao longo das paredes do túnel. A velocidade do fluxo é baixa na camada limite e, como resultado, ela essencialmente bloqueia a passagem de fluxo sob o veículo. Isso cria um campo de fluxo completamente diferente no túnel, em comparação com o ambiente a céu aberto. Para carros de corrida que são projetados delicadamente para criar força descendente entre a parte inferior do carro e o solo, essa diferença no campo de fluxo se tornou um problema significativo. Como solução, uma correia móvel foi introduzida no túnel de vento para imitar o ambiente externo de superfície de estrada. A correia móvel não somente ajuda a replicar o movimento rotacional dos pneus, mas também evita a formação de uma camada limite abaixo do veículo dentro do túnel de vento.

**DICAS**

Originalmente, Prandtl usou duas expressões para descrever seu conceito. "camada limite" e "camada de transição". Ele usou esta expressão com mais frequência. No entanto, os alunos de Prandtl usavam a expressão "camada limite" com mais frequência, e essa expressão é a única que permanece hoje.

DICAS

A contribuição de Prandtl à hidromecânica não pode ser exagerada. Além da Teoria da Camada, Prandtl introduziu a Teoria da Linha de Elevação, a Hipótese da Extensão Mista e a Teoria da Onda de Choque Supersônica, que se tornaram os princípios estruturais da hidromecânica moderna. Além disso, suas aulas formaram alunos de qualidade, como Blasius, Karman e Munk, que se tornaram estudiosos altamente reconhecidos no campo da hidrodinâmica.



4 Teoria da camada limite de Prandtl

6 ► A geração do vórtice de ponta de aerofólio em aerofólios finitos

Com Kutta e Zhukovsky, a teoria da circulação da elevação foi criada e o cálculo preciso da elevação de um fluxo bidimensional se tornou possível. No entanto, as asas e seu fluxo e circulações são tridimensionais, então o fluxo

bidimensional não pode ser aplicado como está. Uma nova teoria sobre a força de elevação em um campo tridimensional do fluxo precisava ser estruturada.

Fluxo ao redor de um aerofólio com envergadura limitada

Como explicado anteriormente, um aerofólio é uma asa com uma envergadura infinita. Um aerofólio com envergadura infinita terá a circulação de dimensões iguais, independentemente do local no aerofólio, e a elevação também será constante. Dessa forma, a teoria de Kutta-Zhukovsky pode ser aplicada diretamente a um aerofólio com uma envergadura infinita.

Dito isto, um aerofólio real tem uma envergadura limitada. Na borda do aerofólio, o fluxo tentará ir da parte

inferior do aerofólio, onde a pressão é alta, para a parte superior, onde a pressão é menor. Portanto, a distribuição de pressão na superfície de um aerofólio de envergadura limitada difere em comparação com o modelo de envergadura infinita, e a elevação diminui à medida que se aproxima da ponta do aerofólio. O fluxo circula do lado de alta pressão para o lado de baixa pressão, criando um vórtice vertical à medida que desce. O vórtice que é gerado na ponta do aerofólio é chamado de vórtice de ponta de aerofólio.

Diagrama 4-6-1 Fluxo ao redor do aerofólio com envergadura limitada

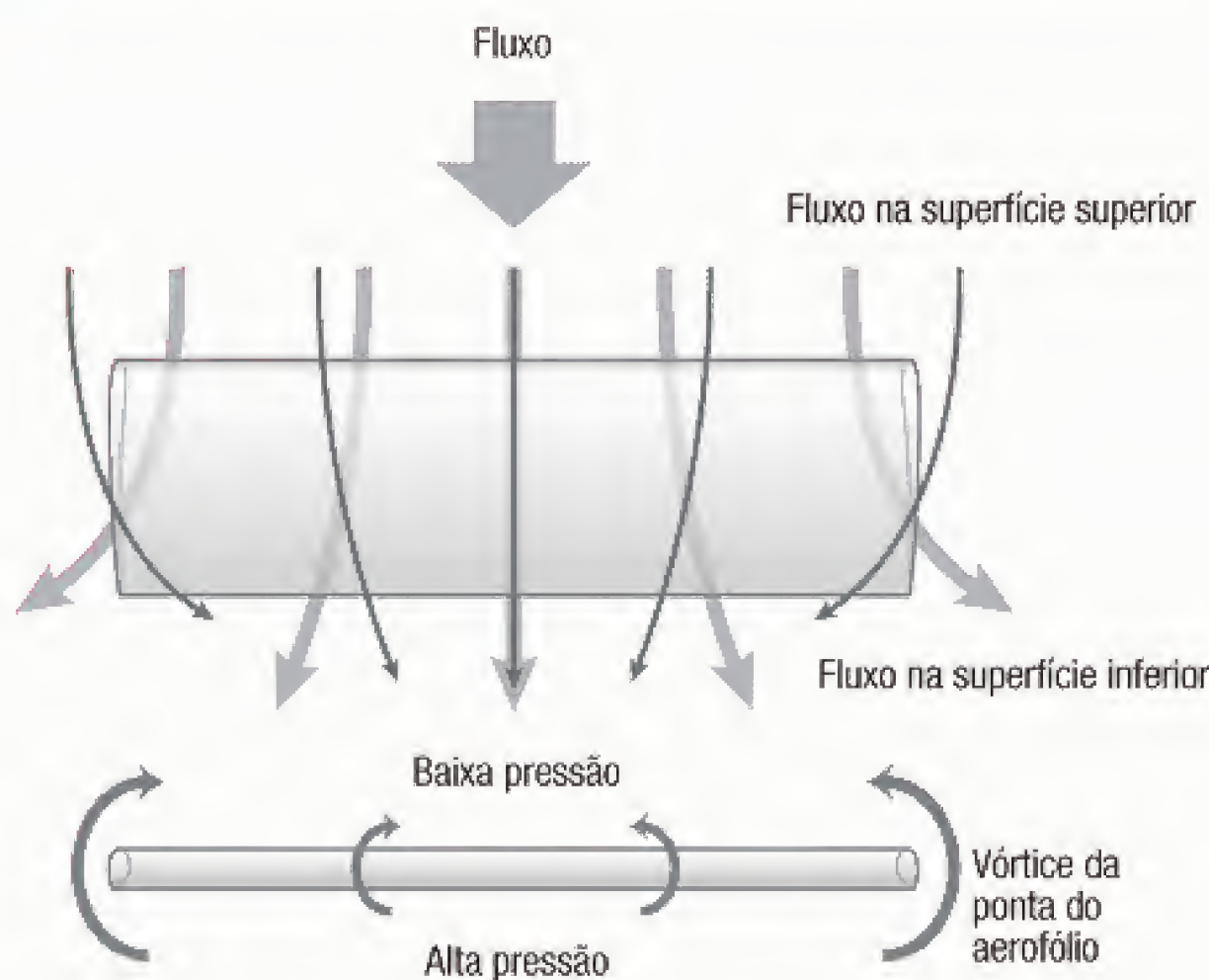


Diagrama 4-6-2 Circulação e elevação dos aerofólios com envergadura infinita e envergadura limitada

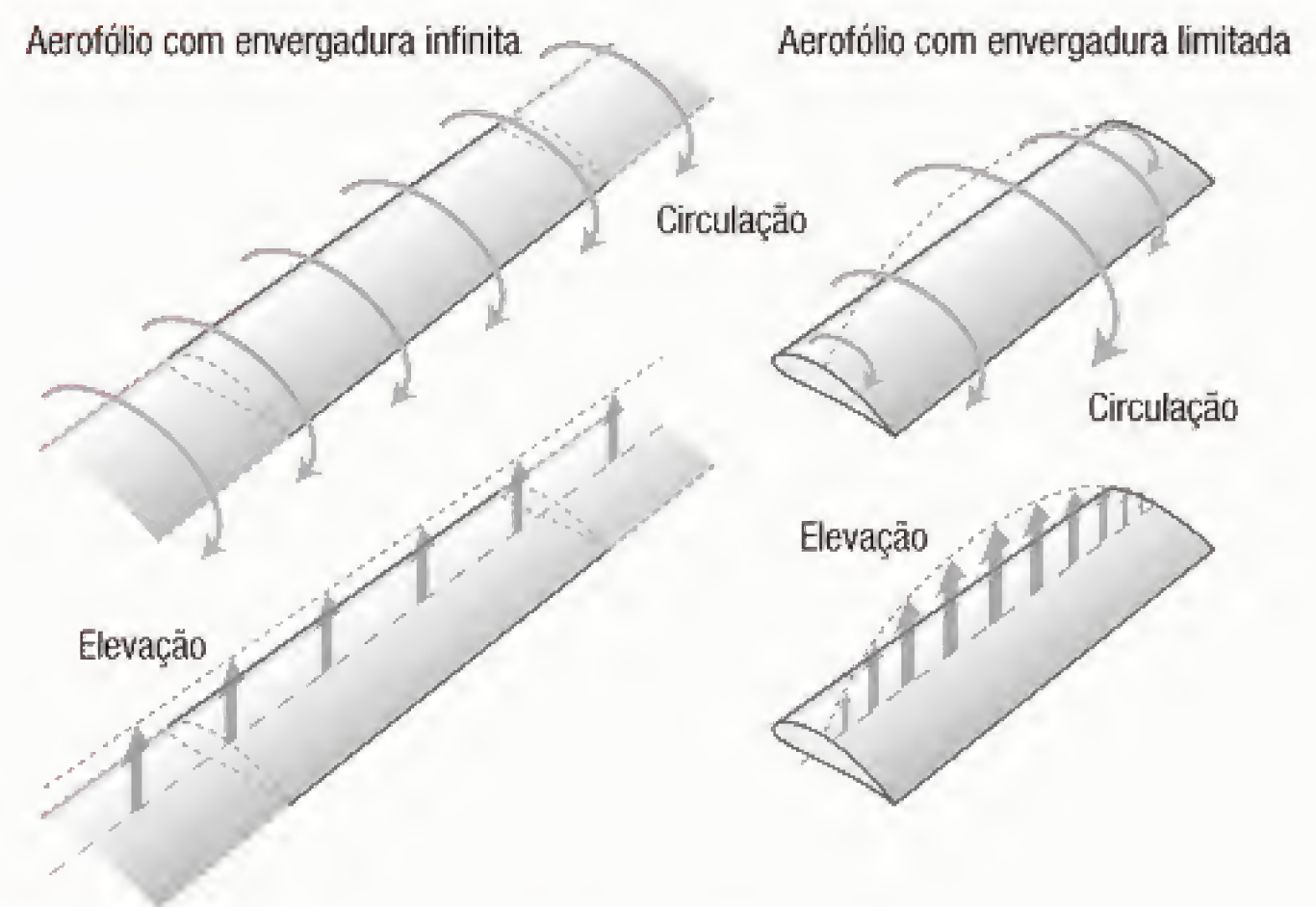
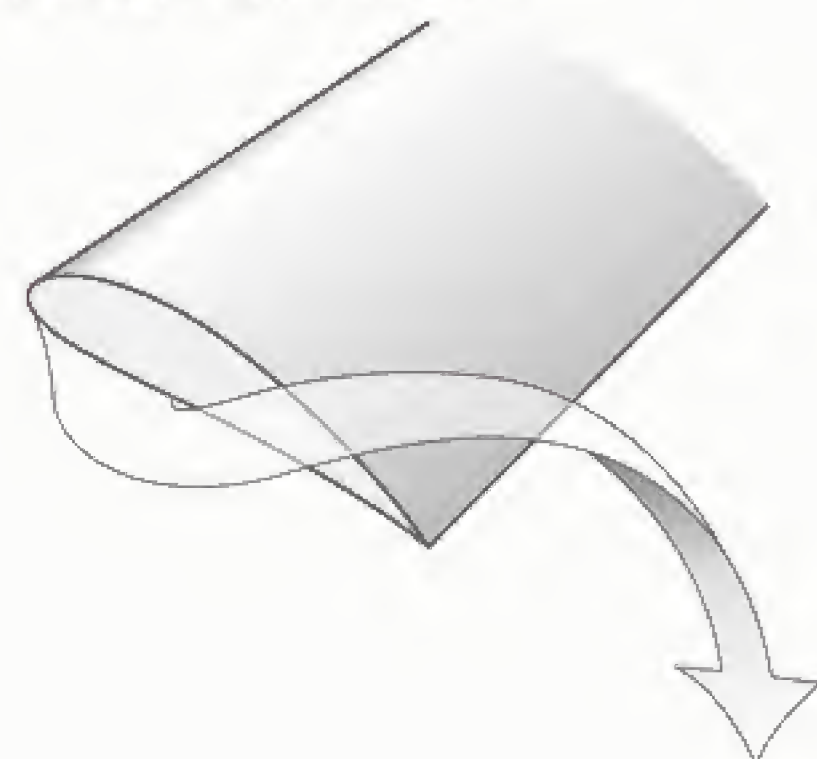


Diagrama 4-6-3 Vórtice da ponta do aerofólio



Teoria da camada limite de Prandtl

Um inglês chamado Frederick Lanchester produziu um modelo de fluxo ao redor do aerofólio com envergadura limitada usando o conceito de filamento de vórtice de Helmholtz. Ele presumiu que a circulação era formada ao redor do aerofólio por filamentos de vórtice, e que os filamentos de vórtice dobravam-se para baixo do fluxo na ponta do aerofólio, criando uma nova circulação. Ele acreditava que o fluxo ao redor do aerofólio com envergadura limitada consistia de um “fluxo uniforme a montante”, uma “camada de vórtice paralela à ponta do aerofólio”, e um “fluxo de filamento de vórtice saindo da ponta do aerofólio e descendo”. Ao combinar esses elementos de fluxo, Lanchester acreditava que a elevação de um aerofólio com envergadura limitada pudesse ser deduzida. No entanto, ele não apresentou uma expressão matemática precisa para sua teoria, e ela não foi aprovada pela comunidade acadêmica da época.

A teoria para um aerofólio de envergadura limitada foi completada por Prandtl, que também havia registrado a Teoria da Camada Limite. A teoria de Prandtl da elevação para um aerofólio com envergadura limitada era muito semelhante ao modelo de Lanchester, mas ele pôde apresentar uma racionalização matemática para sustentar sua teoria.

O modelo de Prandtl se baseou nos filamentos de vórtice de fraqueza infinita, agrupados em uma quantidade infinita, e colocados na superfície do aerofólio dobrados para baixo. Esses filamentos de vórtice são chamados de linhas de elevação.

A teoria da linha de elevação de Prandtl permitiu o cálculo da força de elevação e torque, que pode ser gerado de um aerofólio com envergadura limitada. Além disso,

a existência do arraste induzido gerado pela corrente descendente do vórtice da ponta do aerofólio foi confirmada. Isso ajudou a provar teoricamente que o arraste induzido ficava menor quando a envergadura (relação de aspecto) de um aerofólio ficava maior.

Diagrama 4-6-4 Diagrama conceitual da Teoria da Linha de Elevação

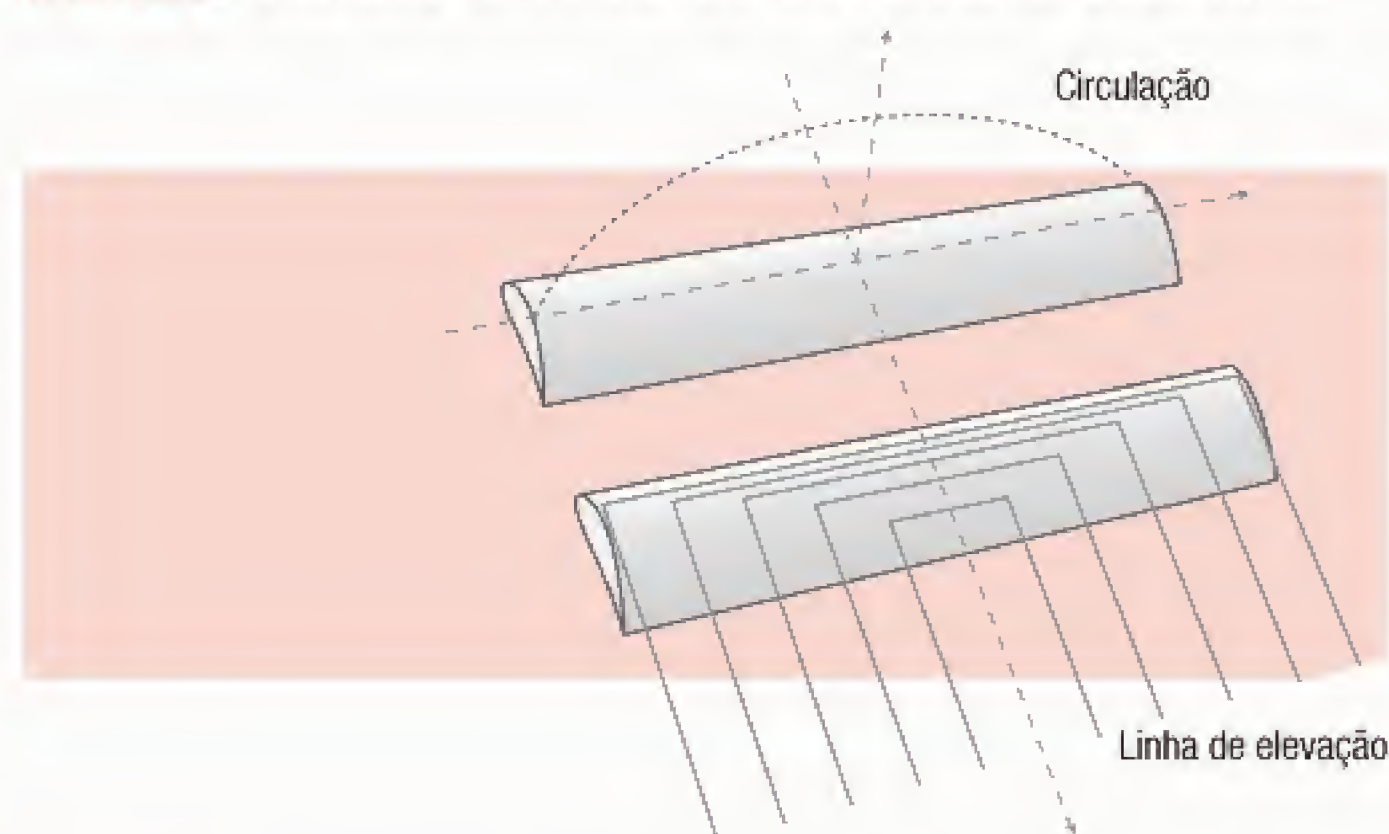
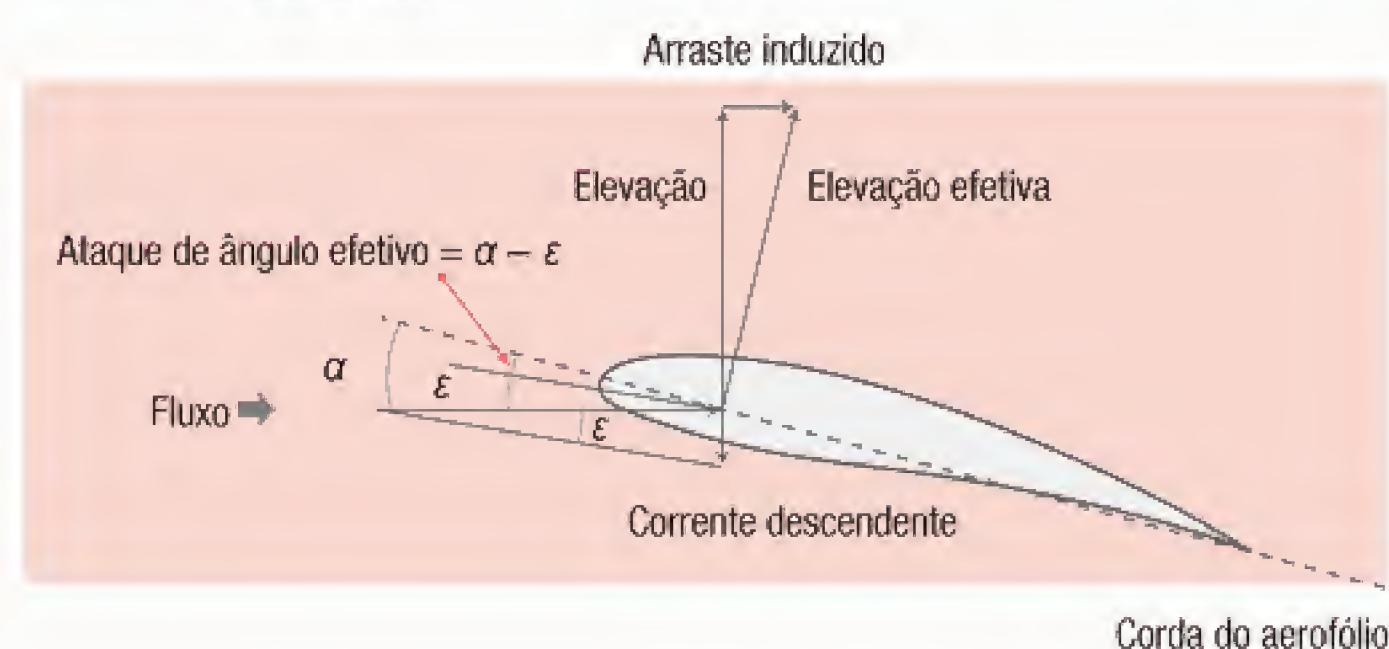


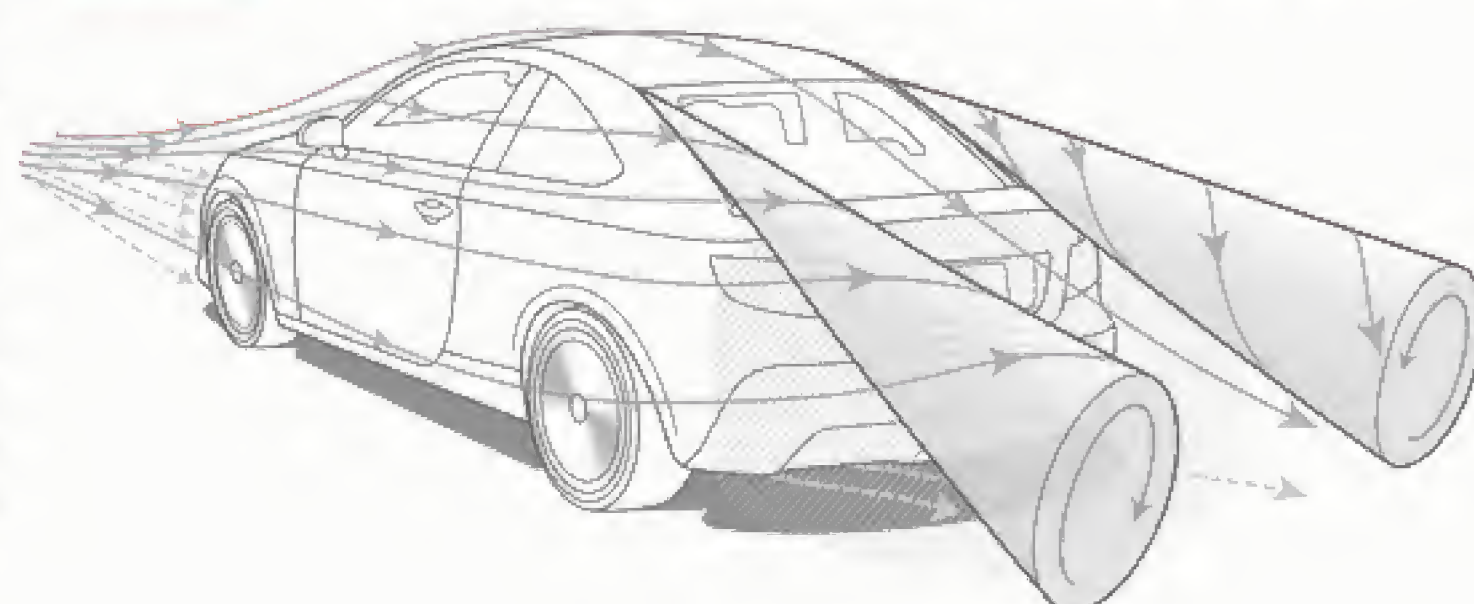
Diagrama 4-6-5 A ilustração de Lanchester do vórtice ao redor do aerofólio



DICAS

Um vórtice da ponta do aerofólio, como ilustrado no diagrama 4-6-3, ocorre quando a pressão sob o aerofólio cria um fluxo que sobe para a superfície do topo do aerofólio, onde a pressão é menor. Para o vórtice da ponta do aerofólio ser gerado, deve haver uma fonte constante de energia. Se essa energia estiver sendo gerada por um motor, isso significa que há desperdício por meio do consumo de combustível. No mundo real, a corrente descendente em conjunto com o vórtice da ponta do aerofólio afeta o campo de pressão do aerofólio, gerando um arraste induzido pela pressão. Como este é um arraste causado pelo fluxo induzido pela elevação, ele é chamado de “arraste induzido”. Prandtl indicou que o vórtice da ponta do aerofólio reduz a elevação. Isso ocorre porque a corrente descendente do vórtice reduz o efeito do ângulo de ataque. Deve-se observar também que o vórtice da ponta do aerofólio foi descoberto por Lanchester. (Diagrama 4-6-5)

Diagrama 4-6-6 O vórtice longitudinal gerado pelo chassi de um carro



Fluidodinâmica computacional

CAPÍTULO 1 Engenharia automotiva

5 O mundo da CFD

1 ► CFD: um mundo de discretização

A introdução à teoria da aerodinâmica na seção anterior demonstrou que, para compreender totalmente o conceito de campo de fluxo, era necessário resolver equações dos fluidos como a equação de Navier-Stokes. Na segunda metade do século XX, grandes descobertas nesta área foram viabilizadas pelo uso de computadores para resolver numericamente as equações dos fluidos.

Esse é o campo da fluidodinâmica computacional (ou

dinâmica dos fluidos computacional), geralmente chamada de CFD (computational fluid dynamics, em inglês). A CFD tem sido uma ferramenta de desenvolvimento automotivo essencial já há algum tempo, mas não é muito conhecida pelo público geral. Para compreender os fundamentos de como a CFD funciona, vamos observar brevemente seus conceitos teóricos.

Aproximação

O mundo real é analógico. Uma maneira de ver é como um contínuo suave, de forma que um ponto qualquer em um contínuo espaço-temporal infinito produz algum tipo de dado físico. Até mesmo na fluidodinâmica teórica, o fluido é basicamente considerado como um contínuo suave em constante mudança. Por outro lado, os computadores são digitais, por isso eles só conseguem lidar com valores fragmentados e/ou descontínuos, e guardam um número limitado de informações. Portanto, a CFD divide o contínuo suave do espaço e tempo e lida com ele de uma forma descontínua. Lembre-se, porém, de que o objetivo da CFD é representar o contínuo suave do mundo real da maneira mais fiel possível. Para isso, as informações não guardadas pelos

computadores precisam ser modeladas e complementadas.

Então, como complementamos as informações ausentes? Isso é feito simplesmente conectando as informações dentro do computador com uma linha reta, um dado sem tratamento como algo que muda nessa linha reta. Ou, podemos complementar usando um modelo de linha curvada que exhibe as alterações como uma curva onde as informações podem estar ausentes. Esse processo de simplificar as informações sem perder as propriedades originais é chamado de “aproximação”, e o processo de obter um valor próximo ao original usando essa aproximação é chamado de “valor aproximado”. Se a CFD, o método de aproximação acima é chamado de “esquema”.

Diagrama 5-1-1 A diferença entre o mundo real e o mundo da CFD

•O mundo real

Os dados podem ser encontrados em qualquer espaço e tempo

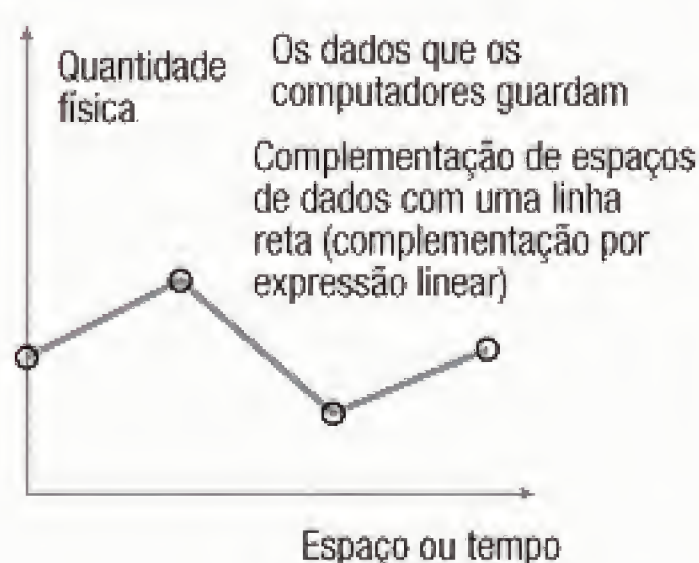
•O mundo do CFD

Os dados só podem ser encontrados dentro dos limites do espaço e do tempo



Diagrama 5-1-2 Complementação de dados ausentes dos computadores

Para reconstruir o mundo real no mundo da CFD, é necessário um esquema para complementar os dados computacionais ausentes



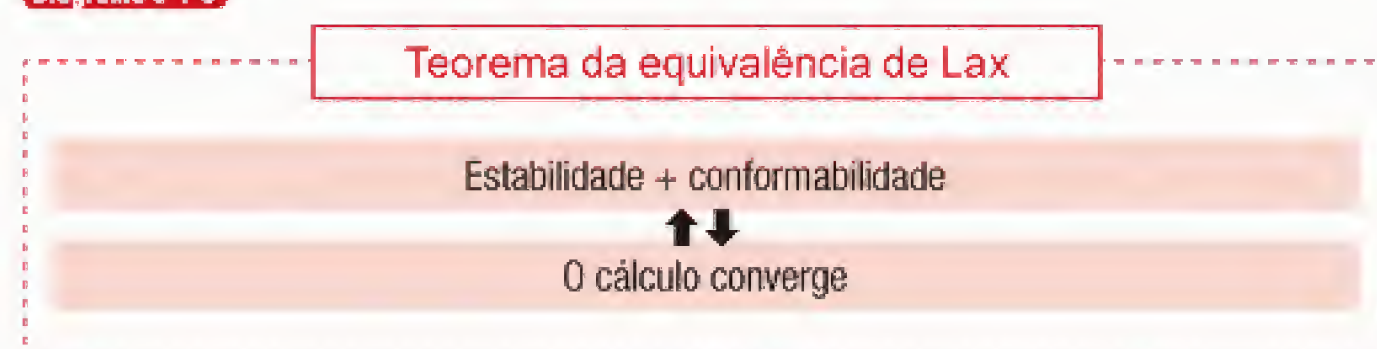
■ O teorema da equivalência de Lax

Como os computadores não podem conter informações sobre todo o tempo e o espaço do mundo real, os resultados de cálculo obtidos pela CFD são um valor aproximado. Porém, se a diferença do valor verdadeiro é pequena o suficiente, de um ponto de vista prático, essencialmente não há problemas. Por exemplo, quando a velocidade de fluxo média em um campo de fluxo é de 30 m/s, não faz sentido considerar um valor de dígito de 0,000001. Uma pessoa analisando um fluxo entre 30 m/s e 30,000001 m/s os consideraria como sendo virtualmente o mesmo valor. Portanto, esses valores de dígito mínimos podem ser ignorados, e da mesma forma, se os resultados de uma simulação produzirem diferenças

mínimas semelhantes, desde que sejam mínimas o suficiente, não há preocupação. Para expressar isso em termos técnicos, o resultado do cálculo de uma simulação é aceitável desde que o resultado seja “convergido” para o valor verdadeiro.

Assim, vamos introduzir um teorema importante conhecido como o “teorema da equivalência de Lax”, que foi demonstrado por Peter Lax. Esse teorema declara que “o único esquema que pode convergir é o esquema que pode se conformar de forma estável”. Em outras palavras, a relação de [estabilidade + conformabilidade = convergência] é o teorema da equivalência de Lax. Veja o diagrama 5-1-4 para compreender os significados de “conformabilidade”, “estabilidade” e “convergência”.

Diagrama 5-1-3

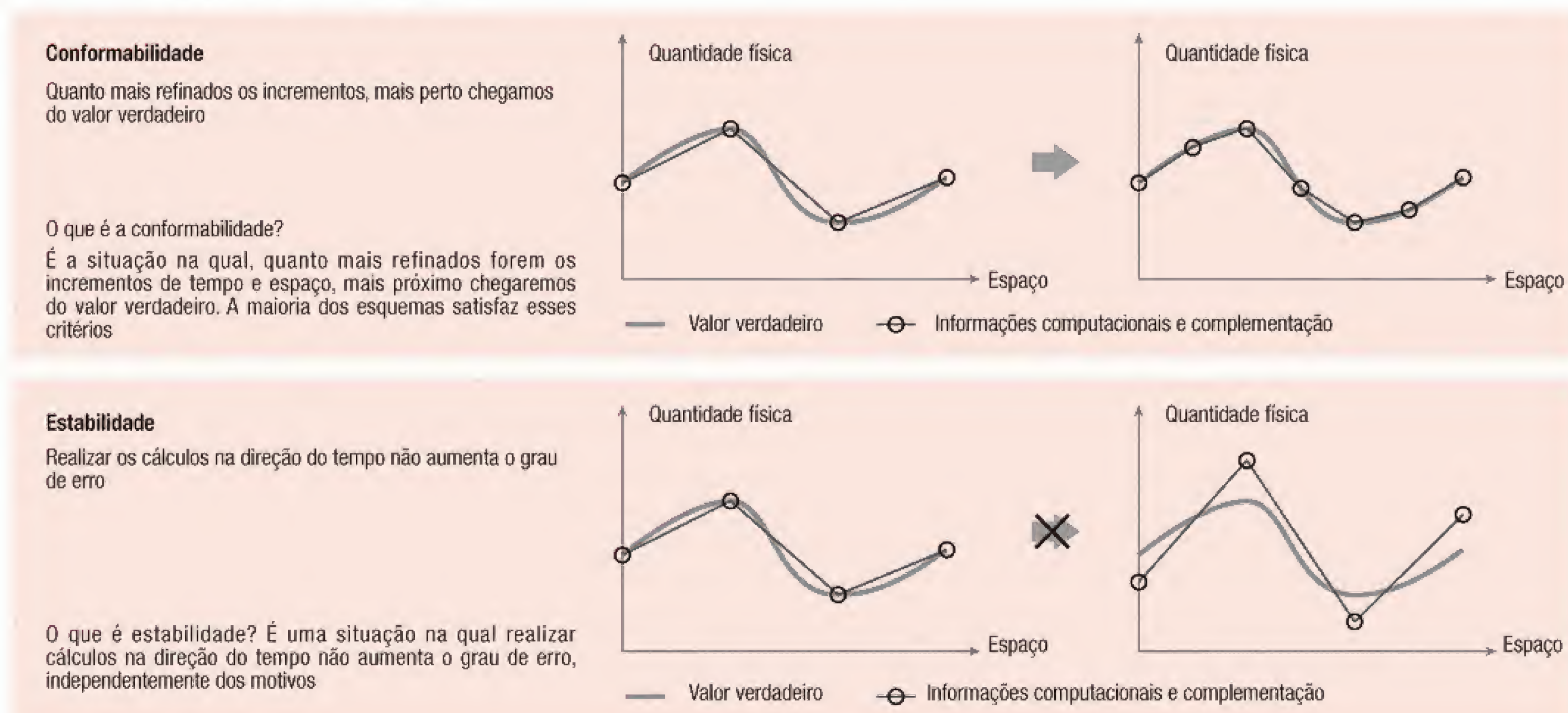


DICAS

O teorema da equivalência de Lax declara que as equações de evolução do tempo linear e escalar atendem aos critérios de estabilidade e conformabilidade para a convergência por meio da equação da diferença. Ou seja, quando a convergência é feita e os incrementos da grade são refinados, a solução da diferença se fecha, retornando à equação diferencial original.

Diagrama 5-1-4

Conformabilidade e estabilidade. O “valor verdadeiro” citado aqui é a solução obtida quando são resolvidas as equações diferenciais parciais do fluido



5 Método de volume finito

2 ► A técnica de simulação de fluido mais amplamente usada

Embora muitas técnicas de simulação de fluido tenham sido concebidas, vamos apresentar uma técnica que é mais amplamente usada, chamada de “método de volume finito”.

■ Conceito do método do volume finito

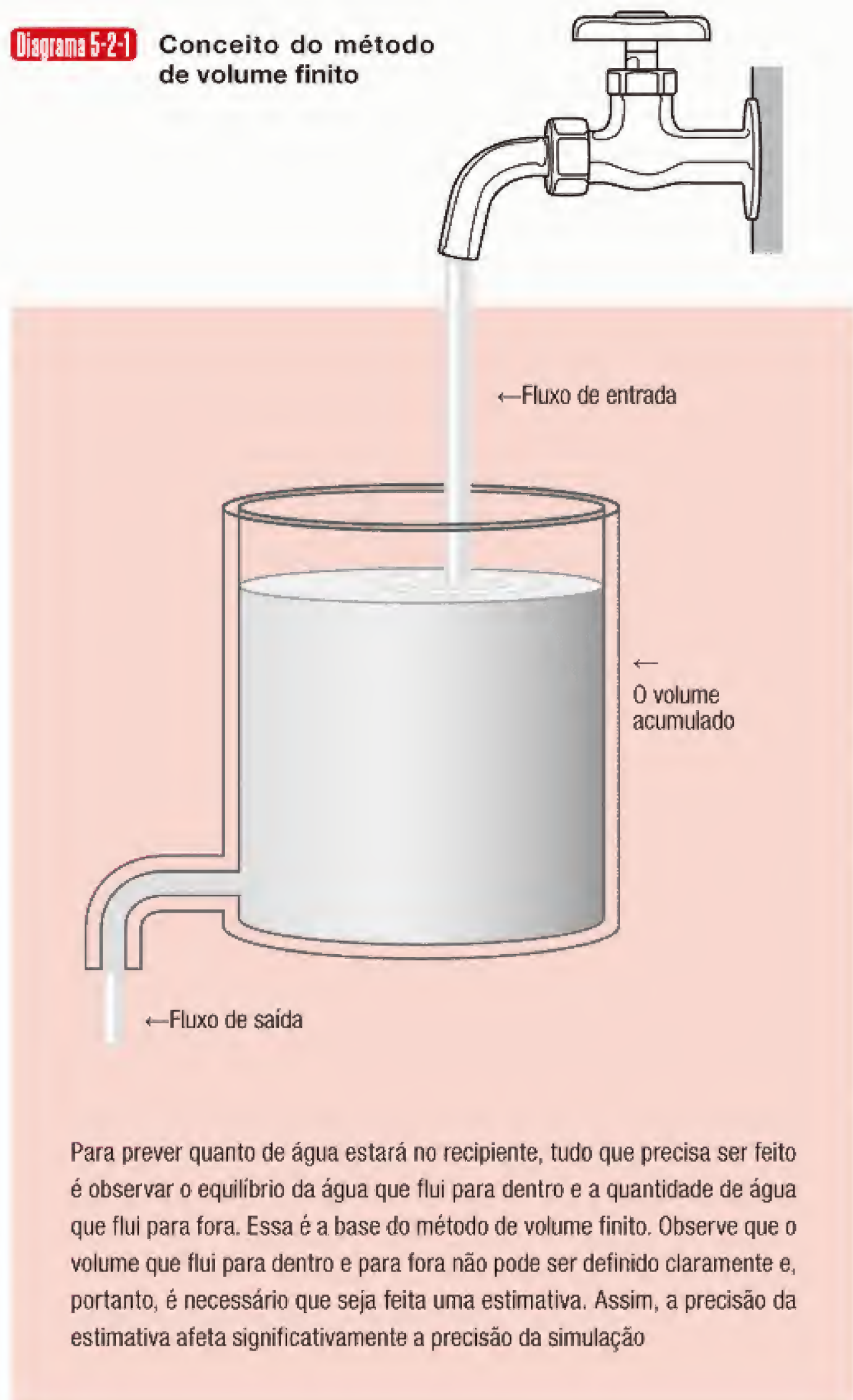
O método de volume finito tem foco no equilíbrio do volume que flui para dentro e para fora de cada elemento de espaço dividido. Por exemplo, considere o volume da água que flui para dentro e para fora de um recipiente. Para calcular quanto de água está dentro desse recipiente um segundo depois, a seguinte equação pode ser usada:

Volume em um recipiente depois de 1 segundo = volume original + fluxo de entrada por segundo - fluxo de saída por segundo

A ideia básica por trás do método de volume finito é semelhante em conceito à técnica que prevê o volume de água no futuro usando o volume de água atual e o volume de água de entra e sai. A técnica para calcular o volume de fluido em uma simulação também pode ser aplicada a quantidades físicas, como pressão e taxa de fluxo.

DICAS A aproximação (esquema) usada para o método de diferença e de volume finito depende da expansão de Taylor. A expansão de Taylor é uma técnica que representa uma função suave por meio de uma expansão em série. Embora a expansão de Taylor não seja descrita aqui, ela é muito importante em diversos trabalhos matemáticos, incluindo a CFD, e recomendamos veementemente que você estude-a caso tenha mais interesse.

Diagrama 5-2-1 Conceito do método de volume finito



Fluxo numérico

Vamos observar mais de perto o conceito do método de volume finito por meio da CFD. Primeiro, dividiremos o espaço como no diagrama 5-2-2. Esse espaço dividido diz respeito à grade (ou rede). Vamos agora considerar um fluido que flui através da grade.

Primeiro, vamos supor que sabemos a quantidade física que cada elemento da grade possui em determinado momento. O conceito de simulação de fluido através do método de volume finito tem a finalidade de prever a quantidade física mantida pelos elementos futuros usando a quantidade de fluxo de entrada e fluxo de saída por unidade de tempo.

Então, como é determinada a quantidade de fluxo de entrada e de saída por unidade de tempo em cada elemento? A resposta, de acordo com a CFD, é medir (aproximar-se de) um valor razoável a partir das quantidades do fluxo de entrada e saída, com base na distribuição da quantidade física atual. Há espaço para escolher como determinar a quantidade, mas o fluxo de entrada e de saída por unidade de tempo não pode ser definido individualmente. O uso de uma escolha humana para determinar a quantidade física de fluxo de entrada e saída por unidade de tempo é chamado de “fluxo numérico”, e a precisão dessa escolha afeta significativamente a precisão dos resultados do cálculo.

Diagrama 5-2-2 Fluxo numérico entrando e saindo do elemento

Quantidade física futura do elemento j = Quantidade física original do elemento j
 + Fluxo numérico $j-1/2$ fluindo para o elemento j
 - Fluxo numérico $j + 1/2$ fluindo para longe do elemento j

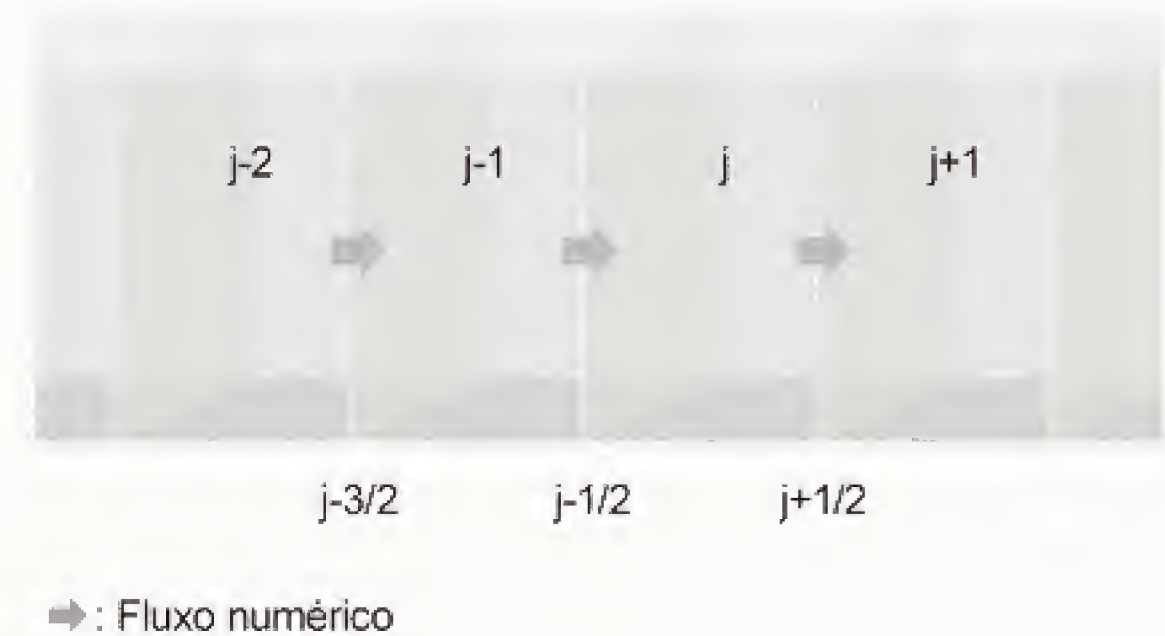
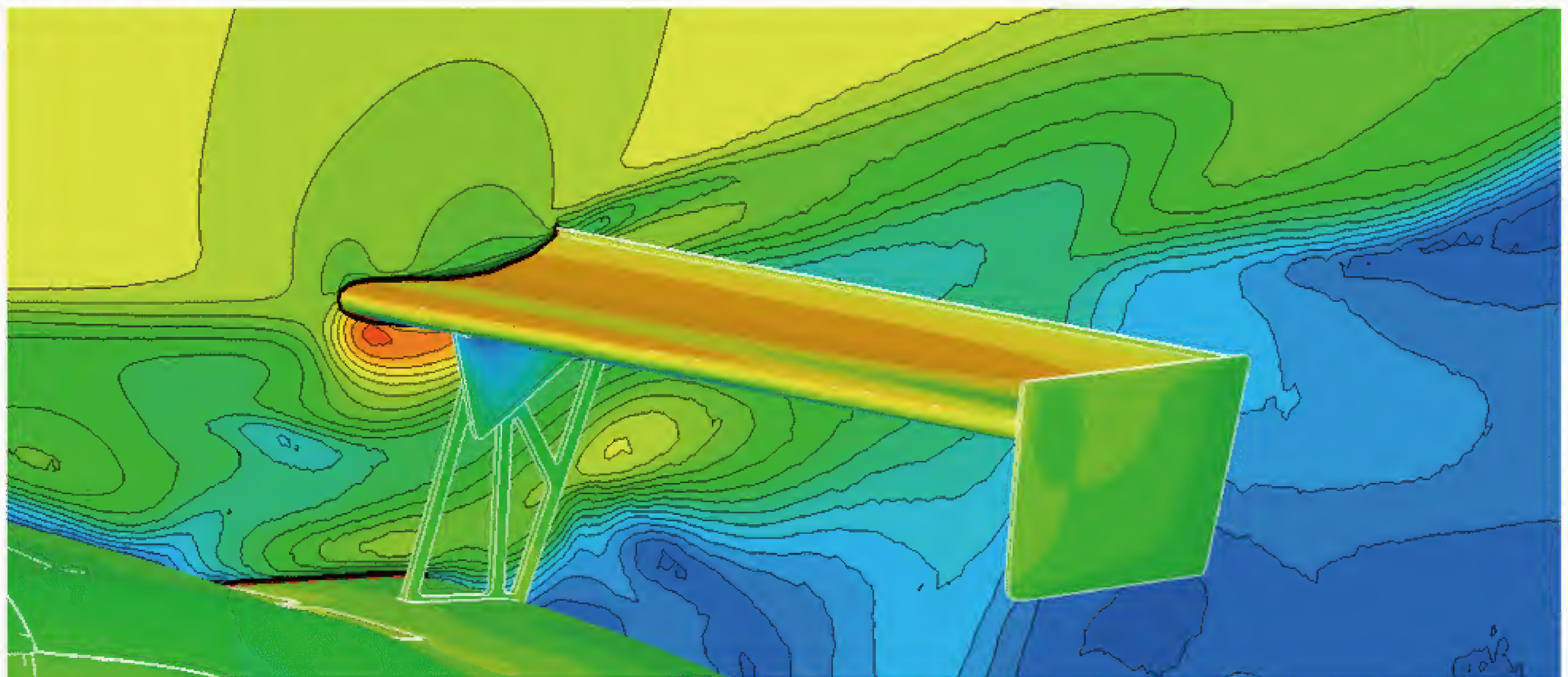


Diagrama 5-2-3 Campo do fluxo ao redor do aerofólio traseiro de um carro de corrida



5 Características do esquema

3 ► A monotonicidade e a alta precisão não podem ser compatíveis

Há várias maneiras de determinar o fluxo numérico, sendo que uma pessoa que realiza CFD deve determinar o esquema adequado. Obviamente, podemos escolher qualquer esquema que quisermos. A precisão do fluxo numérico pode se diferenciar dependendo de que tipo de esquema

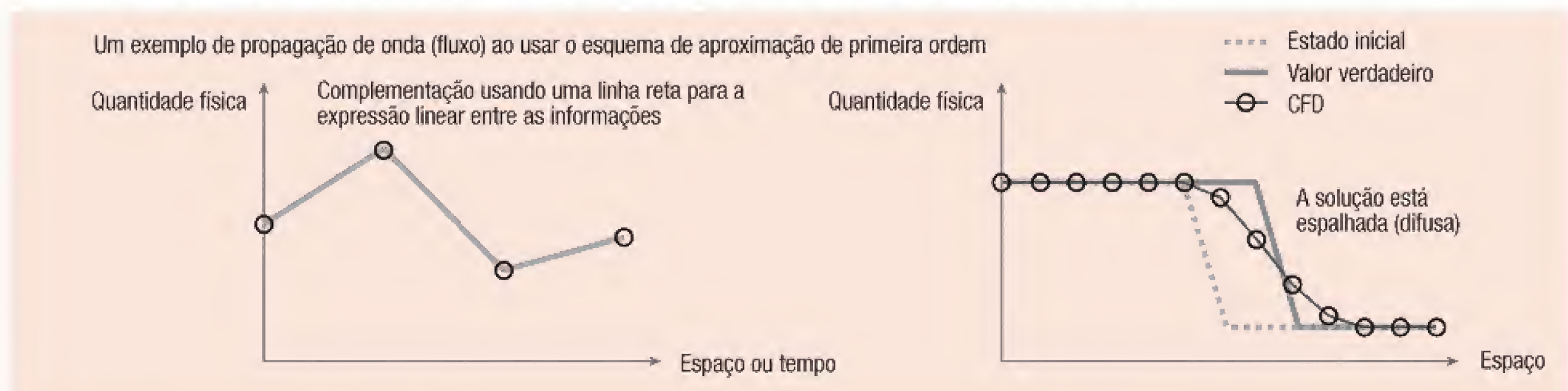
é empregado e afetará a precisão da simulação. Como afirma o teorema da equivalência de Lax, usar um esquema inadequado aumentará a margem de erro e desviará os cálculos. Vamos examinar brevemente como a diferença no esquema pode afetar os resultados.

■ O esquema da aproximação primária

Para complementar as informações ausentes de um computador, a primeira coisa a se fazer é aproximar usando uma linha reta para representar as mudanças na quantidade

física. Quando a expressão linear é usada para aproximar a mudança linear, a precisão desse esquema é considerada a precisão primária. O esquema da aproximação de primeira ordem tem a vantagem de poder manter a monotonicidade, mas tem a desvantagem de tornar a solução difusa.

Diagrama 5-3-1 Exemplo de cálculo da propagação de onda e o esquema de aproximação de primeira ordem. A solução fica difusa porque o esquema de aproximação de primeira ordem não pode resolver as ondas de alta frequência

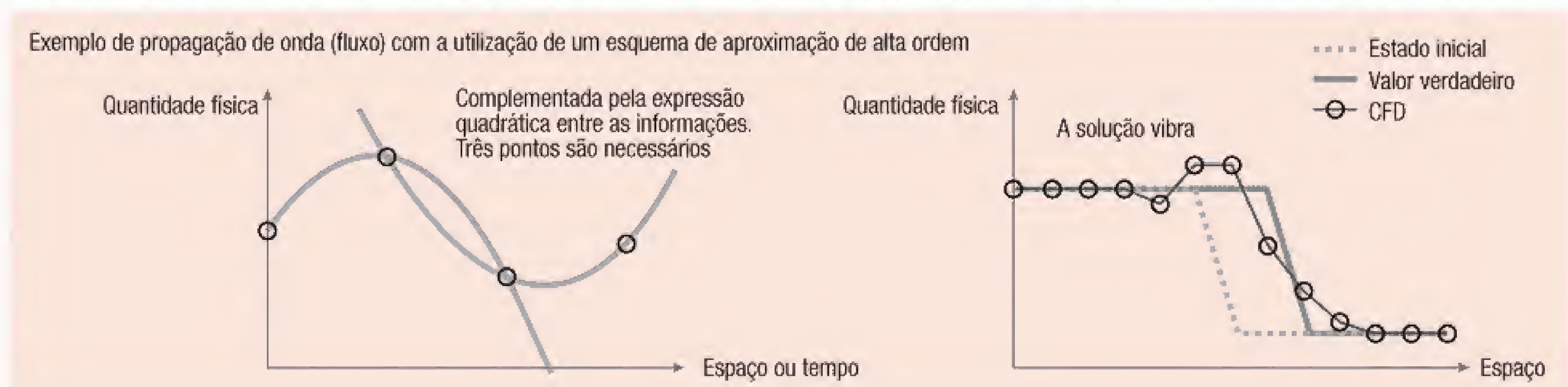


■ O esquema da precisão de alta ordem

É fácil presumir que é possível obter um resultado mais preciso obtendo informações (quantidade física) de mais elementos da grade e fazer uma aproximação de linha curva de alta ordem em vez de fazer uma aproximação a partir da expressão linear de linha reta. Na verdade, a solução obtida de um esquema de precisão de alta ordem é mais

precisa que a obtida de um esquema de precisão de primeira ordem padrão. No entanto, quanto mais alta a ordem, maior será a quantidade física usada para o cálculo de muitas grades. Assim, a complexidade computacional aumenta. Há também outras desvantagens nas quais alguns esquemas de aproximação de alta ordem podem causar a vibração de uma solução, reduzindo assim a precisão.

Diagrama 5-3-2 Um exemplo de cálculo de um esquema de aproximação de segunda ordem e propagação de onda (fluxo). A forma de onda é quebrada porque a onda de precisão de alta ordem é diferente da velocidade (fase) da propagação da onda a partir da frequência



Teorema de Godunov

Podemos obter um resultado de cálculo mais preciso para a maioria do campo de fluxo usando o esquema de aproximação de alta ordem. Porém, há desvantagens ao esquema de aproximação de alta ordem. Ao usar um esquema de aproximação de alta ordem nas áreas onde há mudanças súbitas no fluxo, como um fluxo em uma superfície de descontinuidade, a solução se torna suscetível a oscilações que podem resultar em valores irrealistas e na falta de estabilidade. Nesse tipo de campo de fluxo, o esquema de aproximação de

primeira ordem, que pode manter a monotonicidade, fornece melhores resultados.

Então, por que não criamos um esquema de alta precisão onde a solução não oscila? Infelizmente, foi comprovado matematicamente que as duas condições (o esquema ser de alta precisão e a solução monotônica) não podem ser compatíveis. Isso é chamado de “teorema de Godunov”. De acordo com o teorema de Godunov, não há esquema que possa satisfazer a “alta precisão” e uma “solução ser monotônica” ao mesmo tempo e, independentemente de como é operada, não há como realizar um esquema de aproximação de alta ordem ideal.

Diagrama 5-3-3 De acordo com o teorema de Godunov, qualquer esquema com aproximação de alta ordem não pode manter a monotonia da solução (o sinal do gradiente não muda) para a equação de onda linear. É por isso que um esquema não linear foi criado para solucionar esse problema. Um exemplo é a TVD (descrita abaixo)

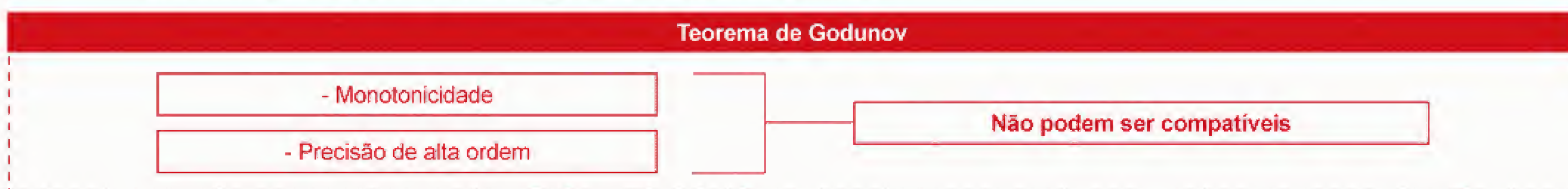


Diagrama 5-3-4 A precisão para mudanças dramáticas no fluxo, como uma superfície de descontinuidade

Aproximação de primeira ordem que mantém os resultados de monotonicidade em uma leitura mais verdadeira

— Valor verdadeiro
○ CFD



5

4

Compatibilidade da aproximação de primeira ordem e da aproximação de alta ordem

► Como tornar a aproximação de primeira ordem e a aproximação de alta ordem compatíveis

De acordo com o teorema de Godunov, ter um esquema que seja de “alta precisão” e no qual “não haja oscilação na solução” é impossível, e, independentemente da abordagem,

não há como eliminar a possibilidade de a solução vibrar. Portanto, devemos pensar em uma maneira diferente de obter bons resultados sem oscilar a solução.

■

TVD

A solução de aproximação de primeira ordem é facilmente difundida e a precisão não é muito alta, mas a solução não oscilará e conseguirá manter a monotonicidade. Por outro lado, enquanto a aproximação de alta ordem produz naturalmente dados mais precisos que a aproximação de primeira ordem, ao solucionar a mudança abrupta do fluxo, como no caso de uma superfície descontínua, a solução pode oscilar e gerar valores irrealistas e inconsistências. Tanto a aproximação de primeira ordem quanto a aproximação de alta ordem, portanto, possuem vantagens e desvantagens. Sendo assim, por que não usar somente as vantagens de cada

um, dependendo do fluxo, para obter o melhor resultado de cálculo? Essa ideia levou a uma técnica chamada TVD (total variation diminishing, diminuição da variação total).

A TVD é um híbrido da aproximação de primeira ordem e de alta ordem. Ela é uma abordagem que foi deduzida para evitar a mudança em solução geral. Essa diminuição pode determinar a mudança de intensidade de um fluxo, sendo que a maioria do fluxo é calculada usando a aproximação de alta ordem, mas em uma situação na qual o fluxo muda drasticamente, ela muda para a aproximação de primeira ordem, mantendo a monotonicidade.

Diagrama 5-4-1 TVD

- Híbrido da aproximação de primeira ordem e de alta ordem
- Dependendo do fluxo, use a aproximação de primeira ordem ou a aproximação de alta ordem

| | Vantagem | Desvantagem |
|-------------------------------|----------------|---------------------|
| Aproximação de primeira ordem | Monotonicidade | Difusão da solução |
| Aproximação de alta ordem | Alta precisão | Vibração da solução |

↓ Usa somente a vantagem de cada

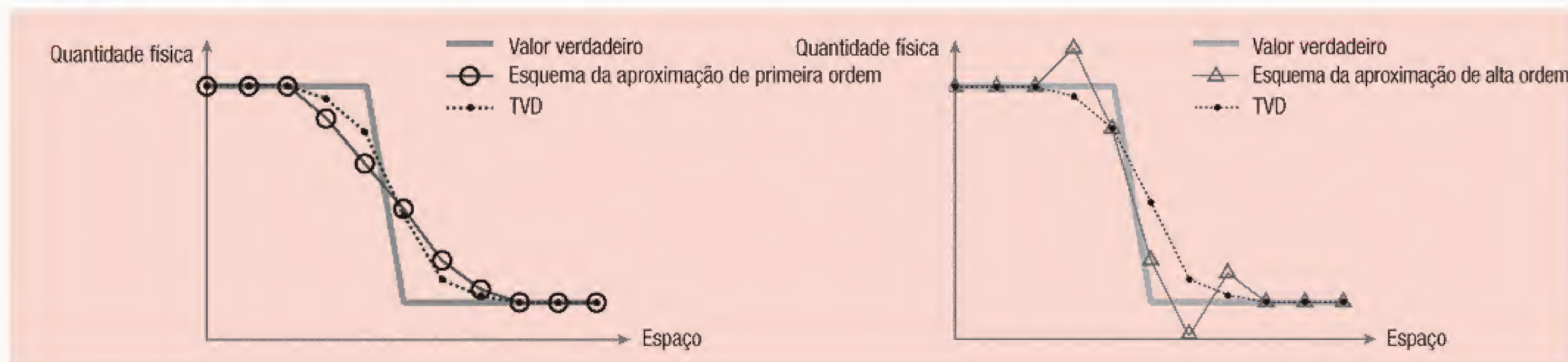
TVD

DICAS Há outras técnicas além da TVD usadas para reduzir a oscilação que aparece quando o esquema de aproximação de alta ordem é usado. Um método notável é o que adiciona viscosidade numérica artificial, e outro é o chamado MUSCUL.

DICAS Os esquemas, como a TVD, que mantêm a precisão de alta ordem em áreas de fluxo suave, mas, ao mesmo tempo capturam leituras claras de áreas descontínuas, são comumente chamados de esquemas de alta resolução.



Diagrama 5-4-2 Os resultados obtidos são muito mais próximos do valor verdadeiro quando a TVD é usada



■ Avaliação da TVD

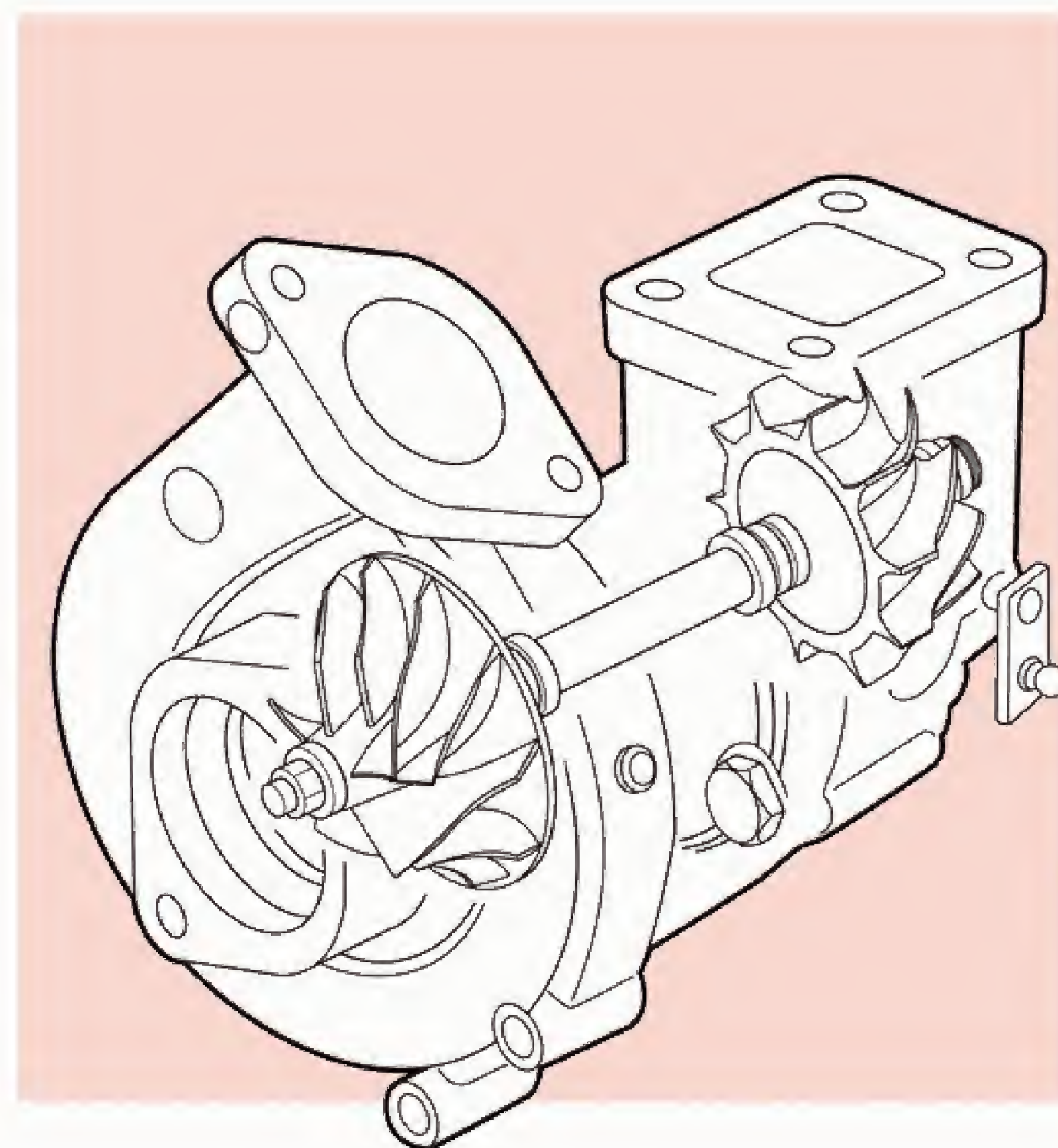
O diagrama 5-4-2 mostra um resultado calculado usando a TVD em comparação aos resultados do esquema de aproximação de alta ordem e do de primeira ordem. Diferentemente do esquema de aproximação de primeira ordem, a TVD não oscila com efeitos não físicos, como o sobreimpulso e o subimpulso. Observe que o espalhamento

é mais bem contido que o do esquema de aproximação de primeira ordem. Em especial, observe que a TVD tem valores verdadeiros mais próximos (solução exata) que os outros esquemas.

Mas como há trabalho necessário para determinar a mudança no campo de fluxo ao usar TVD, demorará muito mais para calcular os resultados.

DICAS

A TVD é eficiente na solução de uma superfície de descontinuidade, como as da onda de choque, sendo uma técnica amplamente usada na simulação de fluxo compressível.



5 Solucionando a turbulência

5 ► Método para reduzir a complexidade computacional

■ Solução de vórtices

Quando um veículo se desloca, turbulência é gerada ao seu redor. A turbulência é composta por vórtices de ar grandes e pequenos, mas, para calcular até mesmo o mais simples vórtice, precisamos de pelo menos nove elementos de grade, como mostra o diagrama 5-5-1. Se quiséssemos calcular diretamente o conjunto completo de vórtices ao redor do veículo, números significativos de elementos seriam necessários.

Por exemplo, se tentássemos solucionar os vórtices que compõem a turbulência ao redor de um veículo se deslocando a 100 km/h, o número de elementos necessários seria $10n^{13}$ potência. Ou seja, seriam necessários cerca de 10 trilhões de elementos de grade! Se você puder usar um supercomputador de nível internacional, isso pode ser teoricamente possível, mas no mundo real da engenharia automotiva, fazer um cálculo massivo como esse é considerado impraticável.

Diagrama 5-5-1 Para resolver os vórtices bidimensionais, pelo menos nove elementos de grade serão necessários

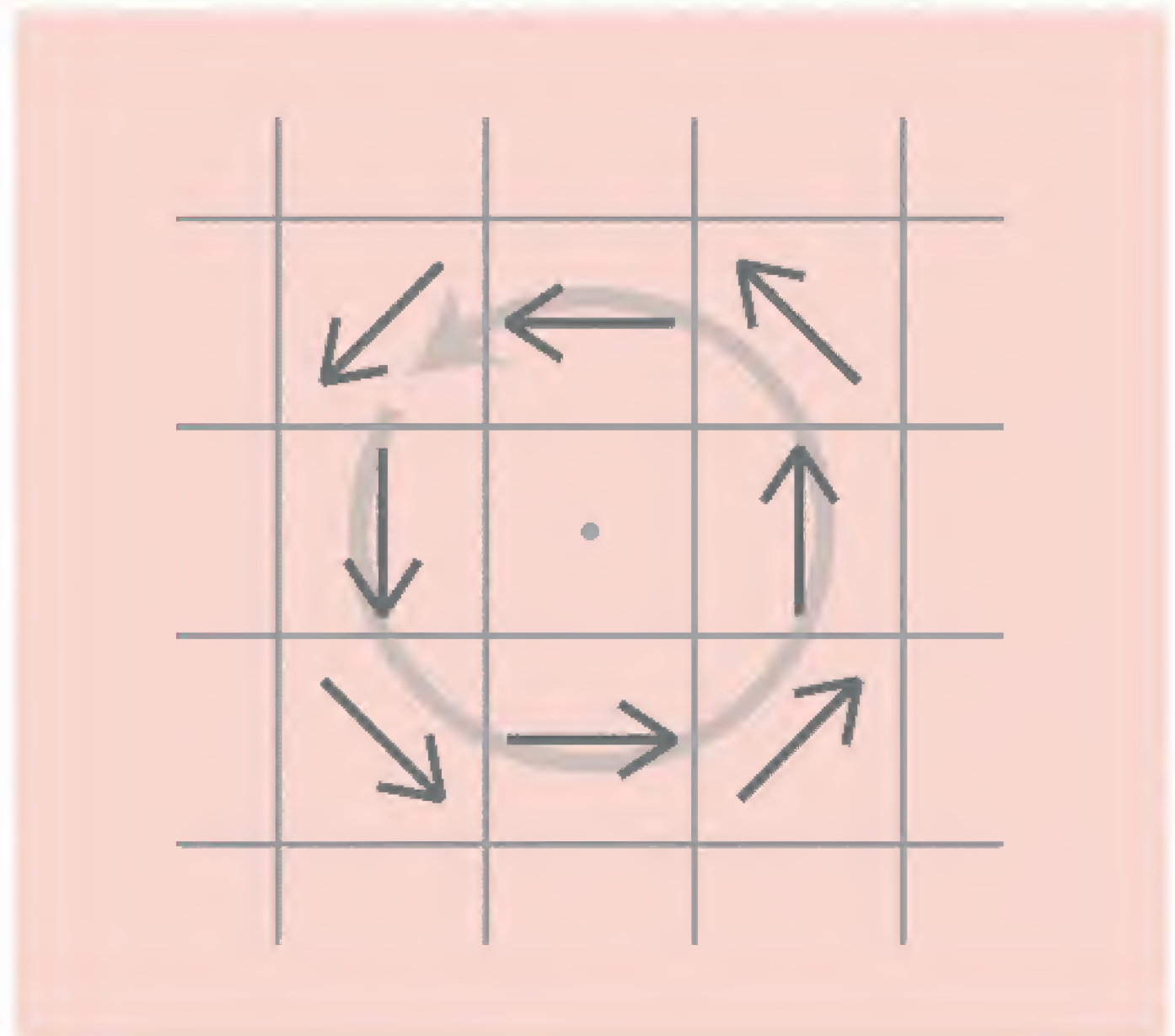
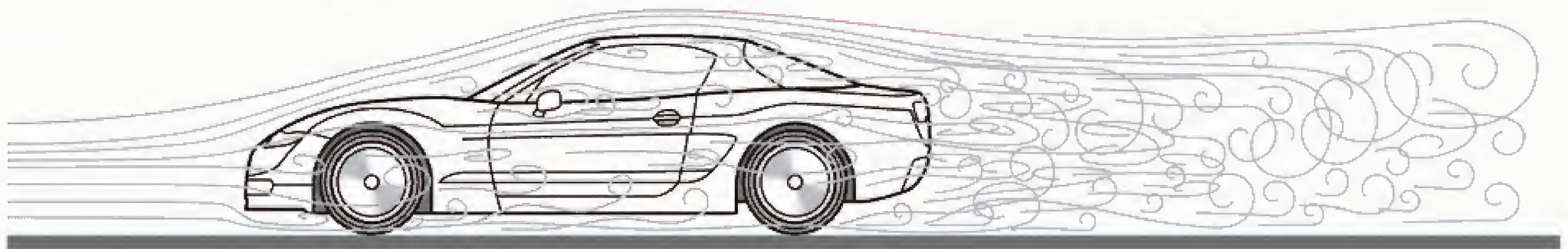


Diagrama 5-5-2 A relação entre a turbulência e os vórtices de ar
A turbulência é composta de vórtices de ar maiores e menores



■ Modelo de turbulência

Na teoria da mecânica de fluidos, a modelagem das características da turbulência nos ajudou a compreender a verdadeira natureza da turbulência. Os movimentos de turbulência são exibidos pela equação de Navier-Stokes, porém, obter uma solução perfeita é impossível. Esforços foram feitos, portanto, para moldar algumas

das características que definem a turbulência, obtendo algum sucesso. Na prática, a introdução desses modelos de turbulência simplificada (sem a tentativa de encontrar uma solução para todos os vórtices, grandes ou pequenos) à CFD diminui a quantidade de cálculos necessários. Vamos observar os modelos de turbulência usados mais amplamente, RANS e LES.

DICAS

Não utilizar o modelo de turbulência e solucionar diretamente a equação de um fluido é chamado de DNS (Direct Numerical Simulation, simulação numérica direta). Mas como dissemos anteriormente, para realizar a DNS perfeita, o espaço deve ser dividido com precisão. Além disso, com a divisão do espaço é necessário dividir o tempo, então a complexidade computacional seria desproporcional.

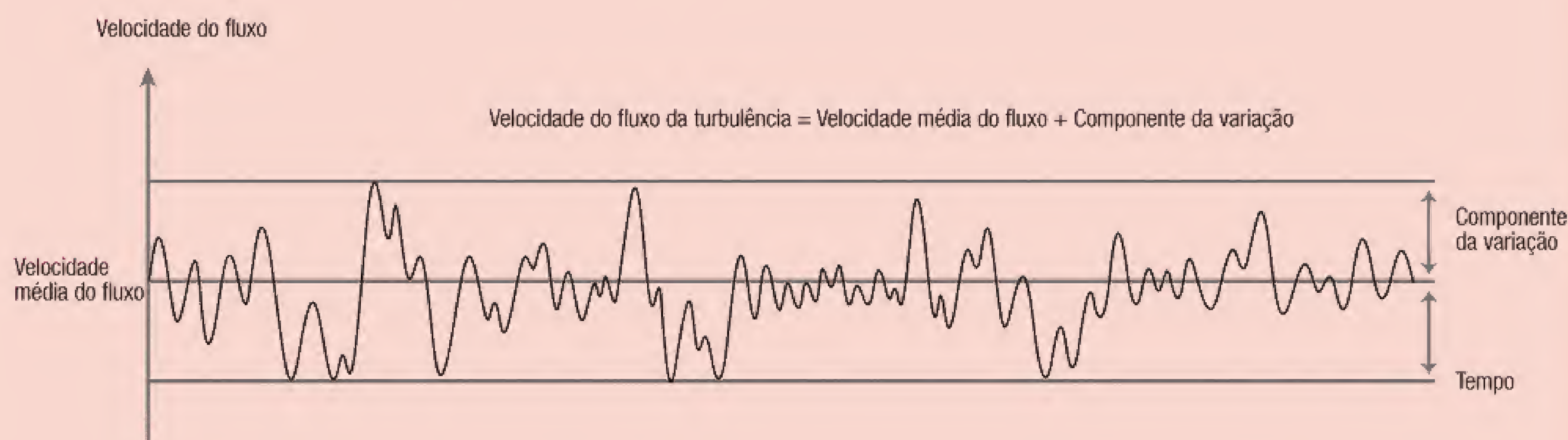
■ RANS (Navier-Stokes médio de Reynolds)

RANS é um modelo de turbulência que converte a taxa de fluxo da turbulência em uma taxa média, que é dividida no componente de variação. A complexidade computacional

necessária pelo RANS é relativamente pequena, por isso esse é o modelo mais amplamente usado. Porém, há desvantagens, como a dificuldade de estimar com precisão a separação do fluxo.

Diagrama 5-5-3 RANS

A turbulência muda irregularmente sua velocidade de fluxo, mas pode-se considerar pela velocidade do fluxo média e pelo componente de variação



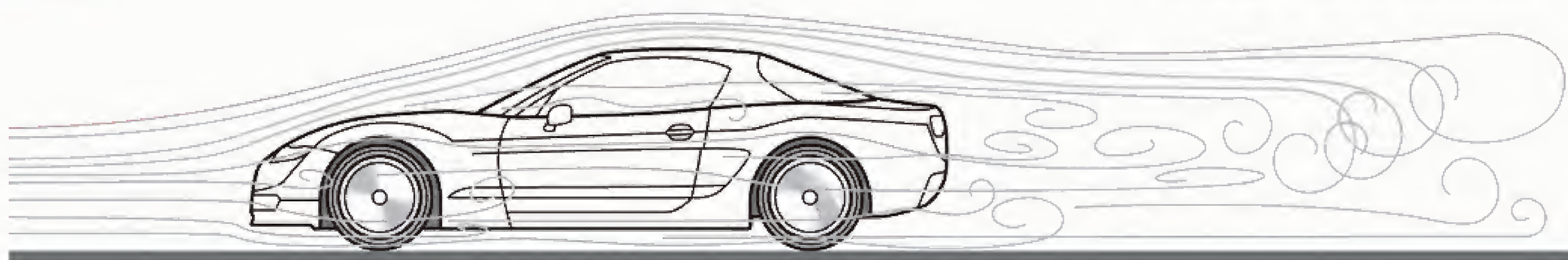
■ LES (Large Eddy Simulation, simulação de turbilhões grandes)

Em relação à turbulência, vórtices grandes são a influência dominante na medição de turbulência, e os vórtices menores são usados quando a influência geral se encontra mais fraca

no campo de fluxo. Se evitarmos solucionar o vórtice menor e calcularmos diretamente o vórtice maior, o vórtice menor será modelado em um processo chamado LES. LES é capaz de calcular o campo de fluxo com um grau muito mais alto de precisão que RANS, mas terá uma complexidade computacional muito maior envolvida.

Diagrama 5-5-4

Solucionando diretamente somente o vórtice maior



A

Adição isobárica de calor 57
Adição isovolumétrica de calor 56
Aerofólio 67
Amortecimento crítico 28
Amortecimento de guinada 41
Ângulo de ataque 73
Ângulo de deslizamento 36

C

Campo do fluxo 67
CFD 78
Ciclo de Atkinson 63
Ciclo de Carnot 52
Ciclo de Diesel 57
Ciclo de Otto 56
Condição de Kutta 73
Conformabilidade 79
Constante de Boltzmann 51
Convergência 79

D

Desordem 59
Diagrama de Bode 32
Diferença de fase 30

E

Eficiência teórica 54
Elevação 67
Envergadura 76
Envergadura limitada 76
Equação de Euler 68
Equação de Navier-Stokes 69
Equação do movimento 20
Equilíbrio de direção 38
Esquema 82
Estabilidade 79
Estado de equilíbrio 50

F

Filamento de vórtice 71
Fluxo numérico 81
Força 20
Força de cisalhamento 36
Força de curva 36
Força lateral 37
Frequência de ressonância 27
Frequência natural 27

G

Ganho 32
Guinada 39

I

Inclinação 39

L

Lei da conservação da energia 22
LES 87

Linha de fluxo 67

M

Massa não suspensa 46
Massa suspensa 46
Método de volume finito 80
Módulo de cisalhamento 36
Monotonicidade 83
Motor térmico 52
Mudança adiabática 53
Mudança irreversível 59
Mudança isotérmica 52
Mudança reversível 59

O

Ordem 59

P

Paradoxo de d'Alembert 70
Perda de energia 62
Proporção de amortecimento 28

R

RANS 87
Rejeição isovolumétrica de calor 56
Resposta 30
Resposta de frequência 32
Ressonância 26
Rolagem 39

S

Sobreamortecimento 28
Sobreviragem (OS) 38
Subamortecimento 28
Subviragem (US) 38
Superfície descontínua 71

T

Teorema de equivalência de LAX 79
Teorema de Godunov 83
Teorema de Kutta-Zhukovsky 72
Teoria da camada limite de Prandtl 74
Teoria da linha de elevação de Prandtl 76
Teoria de Bernoulli 66
Torque 20
Turbulência 86
TVD 84

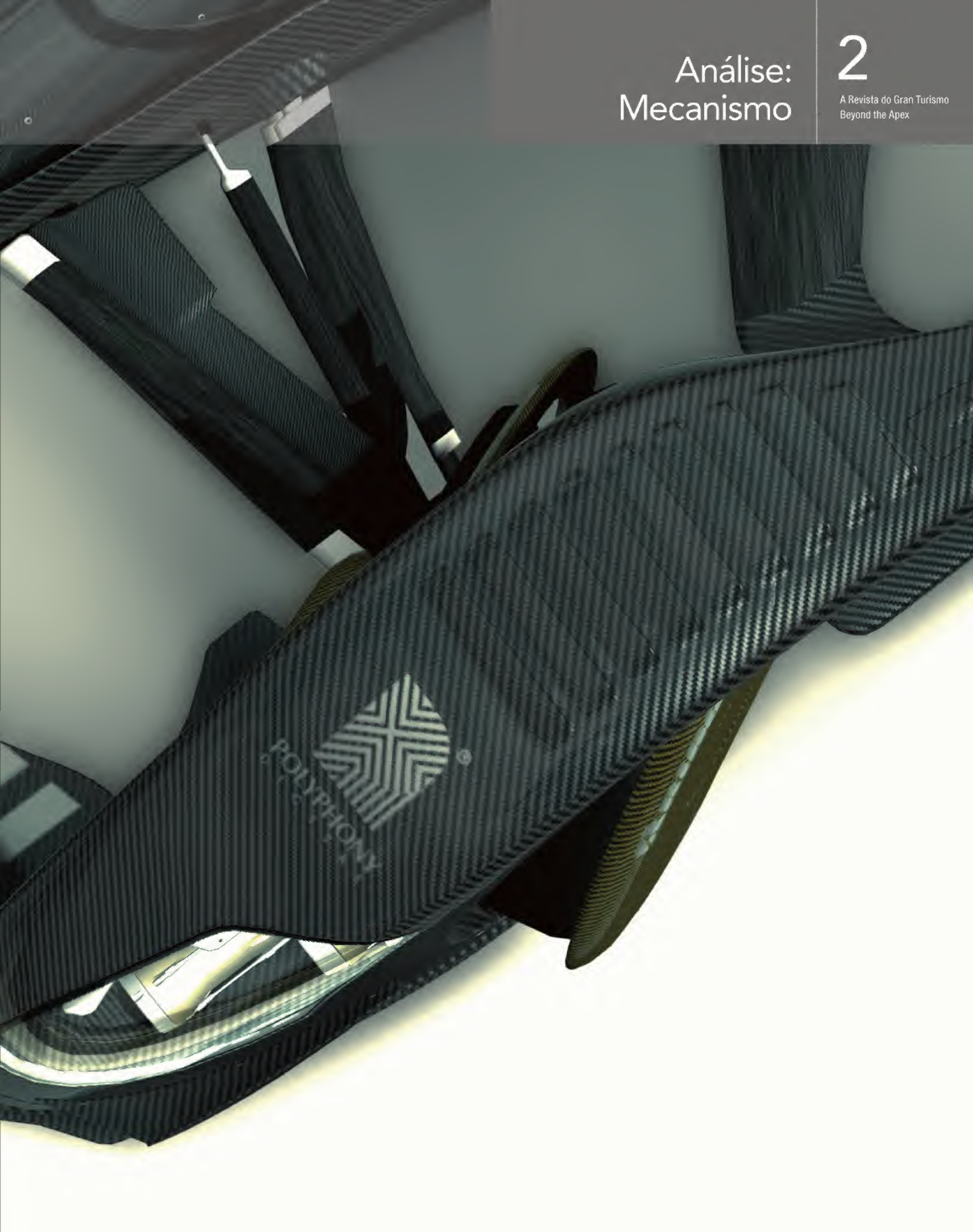
V

Vibração 24
Virada 40
Viragem neutra (NS) 38

Análise: Mecanismo

2

A Revista do Gran Turismo
Beyond the Apex



Especificações básicas

As características e o desempenho de diferentes veículos variam bastante, dependendo do uso pretendido. Ao escolher um veículo, é importante entender os princípios básicos por trás de cada especificação.

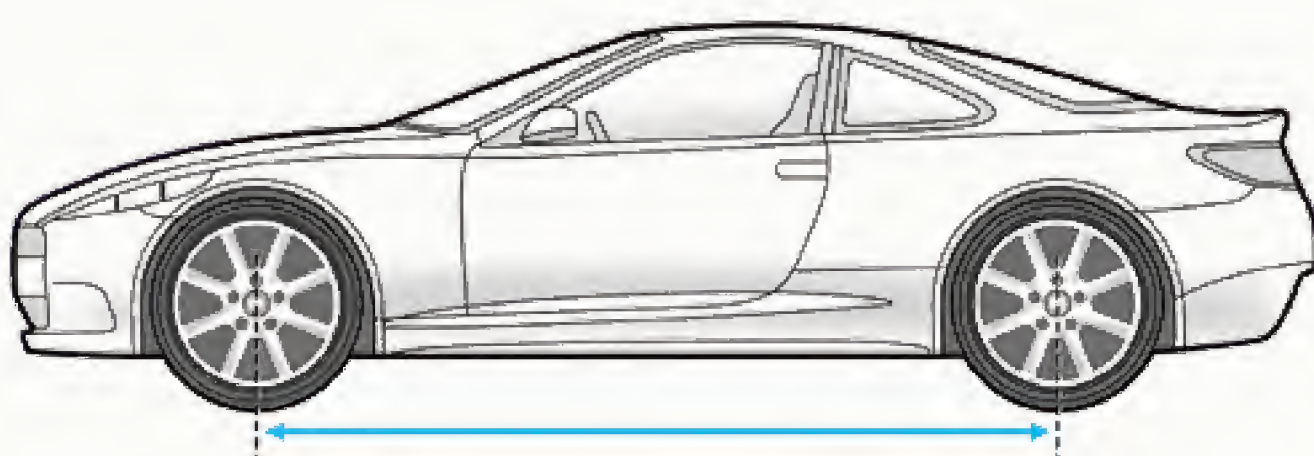
Dimensões

A estrutura de um veículo e o layout básico de suas peças operacionais são as especificações mais básicas, decididas durante os estágios iniciais de desenvolvimento, o que torna mais difícil modificá-las depois. Essas especificações têm um efeito fundamental sobre as três principais funções, de direção, conversão e frenagem. É difícil compensar qualquer deficiência com ajustes, e mesmo uma pequena diferença pode ter um impacto enorme sobre o desempenho. Além disso, os efeitos adquiridos com a virada também são significativamente afetados pelo potencial de base do carro. Para obter o máximo potencial do seu carro, você deverá se familiarizar com as especificações básicas que afetam a performance de direção.



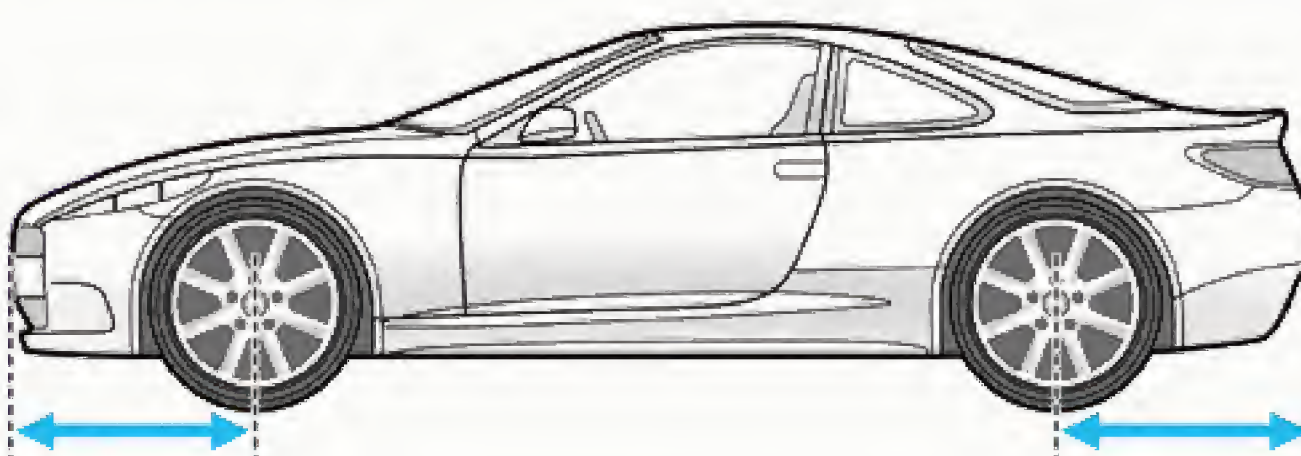
Eixo

O eixo é a distância entre o centro das rodas dianteiras e o centro das rodas traseiras quando o carro é visto de lado. Esse comprimento tem um impacto grande na estabilidade do carro. Quanto maior o comprimento dos eixos, menos afetado será o veículo por ondulações da superfície da estrada e por vento transversal e, portanto, mais estável ele será em linha reta. Por outro lado, embora eixos mais curtos reduzam a estabilidade, a reação da direção fica melhor, e o carro torna-se mais ágil em curvas. Em termos de conforto, eixos maiores geralmente são considerados melhores.



Balanço

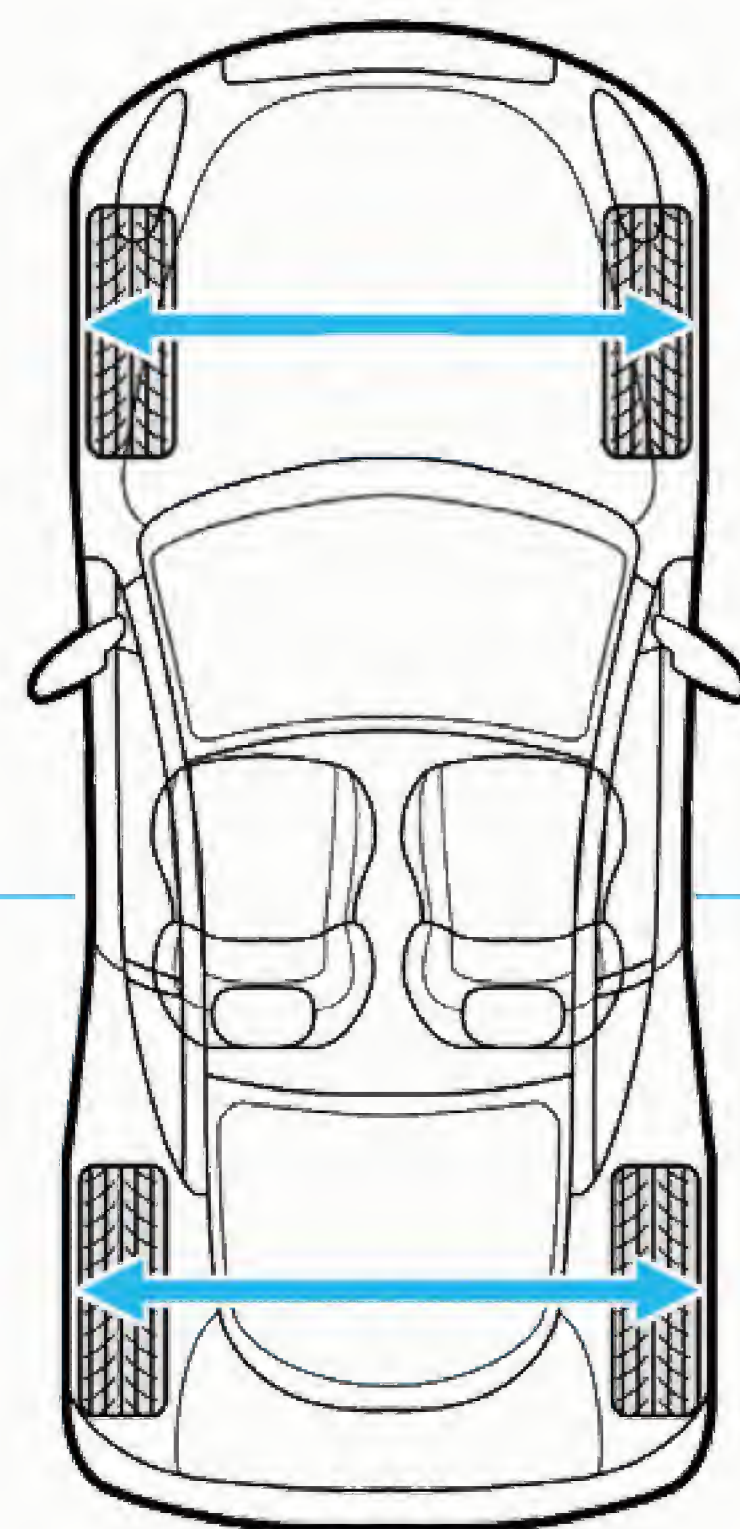
O balanço dianteiro é o comprimento do carro que se estende além do centro das rodas dianteiras para a extremidade mais anterior do para-choque frontal. O balanço traseiro é o comprimento do carro que se estende além do centro das rodas traseiras para a extremidade mais posterior do para-choque traseiro. Se as peças do carro que se estendem além do balanço forem pesadas, o momento de guinada da inércia (resistência às curvas) aumenta, e a dirigibilidade é reduzida. Por isso, os componentes de um carro com peso significativo devem ser colocados dentro do eixo sempre que possível. Isso se aplica especialmente a componentes pesados, como o motor. No entanto, é importante que o balanço tenha certo comprimento para fins aerodinâmicos. Por isso, não é possível evitá-lo totalmente.



O desempenho de um carro depende de suas dimensões e peso

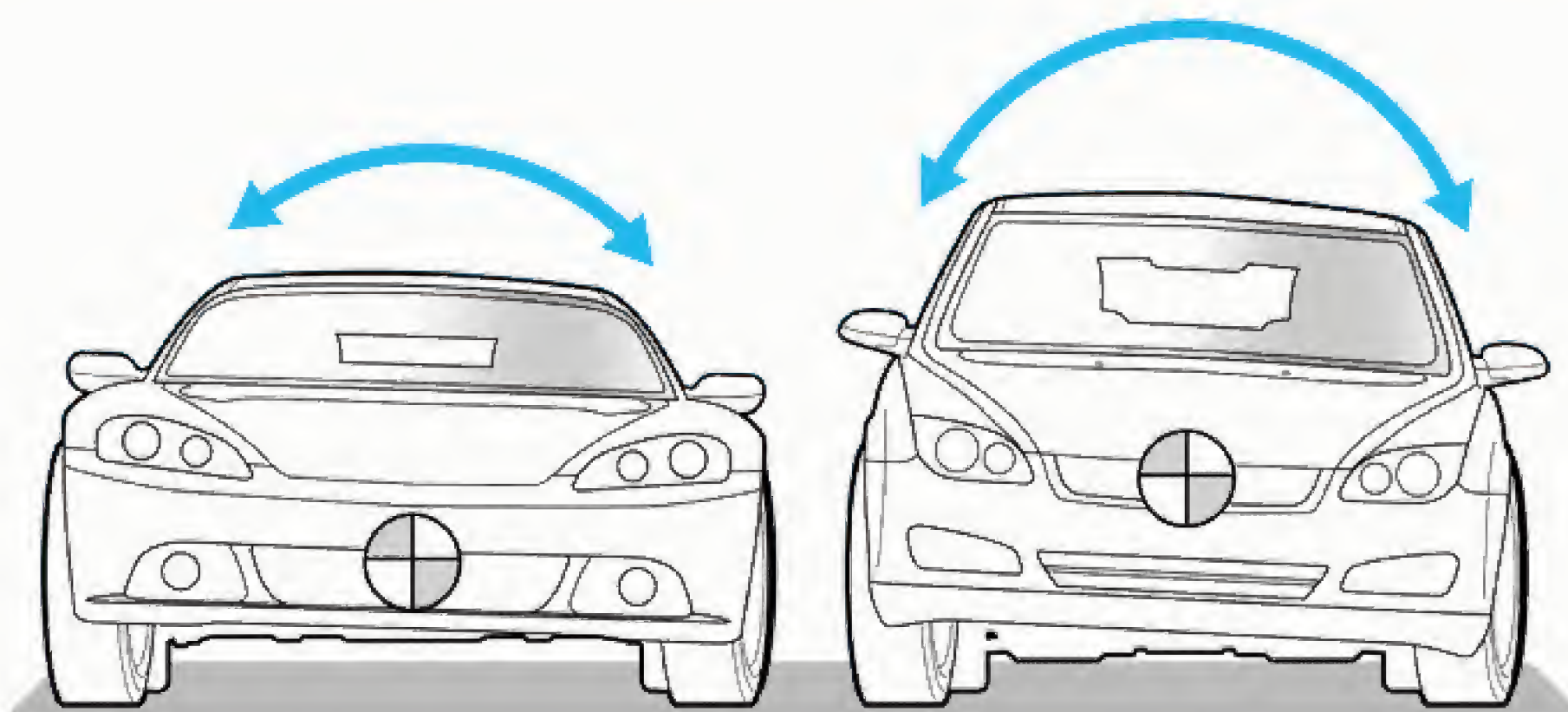
Largura da banda

A largura do eixo é a distância entre as rodas esquerdas e direitas do carro. O aumento da largura da banda diminuirá o centro de gravidade de um veículo. Em termos gerais, o aumento da largura do eixo melhora a tração nas curvas, e o aumento da largura do eixo das rodas de tração aumenta o contato com a superfície da estrada, melhorando a capacidade do veículo de usar sua potência na superfície da estrada. Uma largura do eixo menor, por outro lado, oferece dirigibilidade mais rápida, mas reduz a estabilidade. É comum que os carros de corrida tenham diferentes larguras do eixo para as rodas dianteiras e traseiras, para melhorar a dirigibilidade.



Altura

A altura é a medida entre a superfície da estrada e o ponto mais alto do veículo. Altura mais baixa significa um centro de gravidade mais baixo, reduzindo a rolagem em curvas, e aumentando a velocidade de virada. No entanto, uma altura menor significa menos espaço para passageiros e um curso da suspensão (a quantidade de espaço que as molas da suspensão têm para expandir e contrair) mais curto, além de aumentar o risco de aterragem.



Peso

O peso é um fator determinante para o desempenho do veículo. Quanto mais leve o carro, menos demanda há sobre o motor e mais potência pode ser usada para o movimento. Outros benefícios incluem desgaste reduzido dos freios e curvas mais eficientes. O peso de um carro dividido por sua produção de potência máxima é conhecido como relação potência-peso. Quanto menor essa relação, maior será a aceleração e mais esportivo será o carro. O que também tem um efeito importante na economia de combustível, sendo que reduzir o peso de um carro é agora um fator importante no projeto de novos carros em termos de impacto ambiental e desempenho.

Transmissão e distribuição de peso

Assim como tamanho e peso, a transmissão é outra especificação básica do veículo. As especificações da transmissão são pares de letras que descrevem o local do motor e das rodas de tração em termos de “dianteira”, “média” e “traseira”, com o local do motor indicado primeiro e as rodas de tração depois. FF, FR, MR e RR são algumas das especificações mais comuns da transmissão. Essas informações são importantes porque o local do motor, que é a parte mais pesada do carro, e as rodas movidas por ele terão um efeito enorme sobre o equilíbrio de peso e movimento.

Em carros com bom equilíbrio de peso, a potência do motor será transmitida com eficiência às rodas de tração, com impacto positivo na partida e na aceleração. A frenagem em alta velocidade também será mais eficaz, pois o carro terá uma inclinação menor para frente.

No entanto, o benefício mais importante de um bom equilíbrio de peso é o melhor desempenho em curvas. Carros com equilíbrio de peso deficiente podem se desestabilizar mais

facilmente pela força centrífuga e têm risco maior de girar fora de controle.

O equilíbrio de peso ideal é de 50:50 entre dianteira, traseira, esquerda e direita. Em carros com motor dianteiro, em que as rodas de tração estão na traseira, é possível obter essa distribuição com facilidade. No entanto, veículos com tração dianteira (e veículos 4x4, que geralmente têm tração dianteira), nos quais o motor e as rodas de tração estão na dianteira, são pesados na dianteira, e carros com motor traseiro são pesados na traseira. Hoje, a maioria dos carros com tração dianteira tem o motor montado na transversal (“de lado”, se comparado à maioria dos veículos) para tentar melhorar a distribuição de peso.

No entanto, os entraves relacionados ao equilíbrio de peso não são impossíveis de resolver. O aperfeiçoamento é possível até certo grau pelo ajuste e pela condução para compensar desequilíbrio. As diferenças sutis, como essas, são os motivos pelos quais um carro de corrida MR venceria um carro FR com bom equilíbrio.



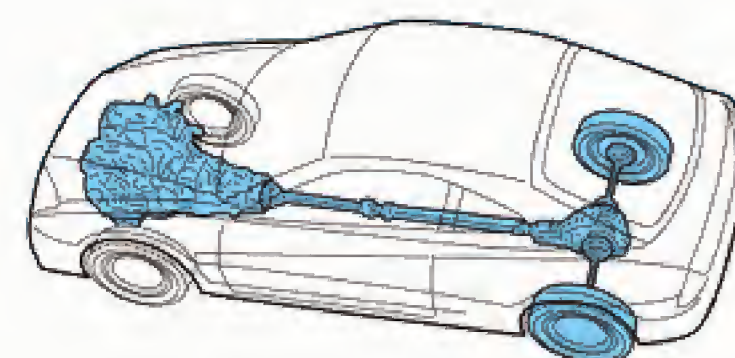
Manobrabilidade e estrutura básica

Tipos de transmissão

FR

Motor dianteiro, tração traseira

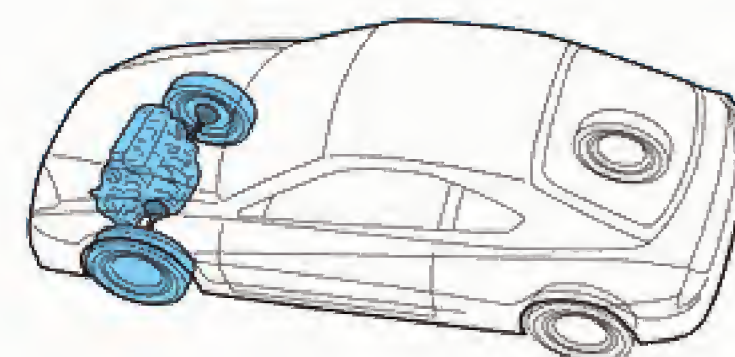
Esse é um layout convencional, com o motor localizado na dianteira, e as rodas de tração na traseira. Uma distribuição de peso uniforme é atingida com facilidade em veículos com esse layout. Além de boas características de dirigibilidade, há a vantagem de uma boa sensação de direção, porque as rodas usadas para direção (dianteiras) estão separadas das rodas de tração (traseiras). No entanto, pode ser difícil obter tração (e, assim, potência de direção) em algumas superfícies.



FF

Motor dianteiro, tração dianteira

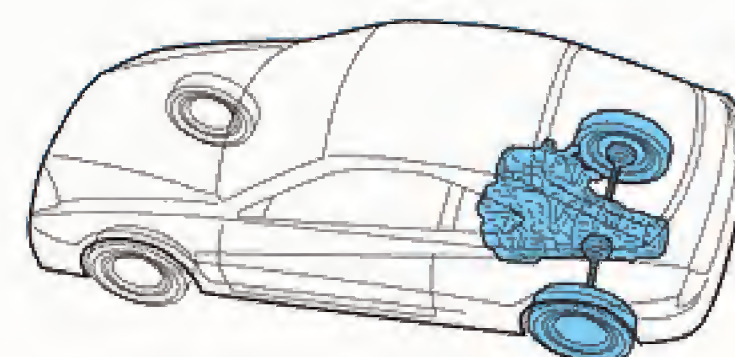
Um layout com motor e rodas de tração na dianteira. Colocar o motor e a transmissão juntos na dianteira faz com que a cabine fique maior, mas é inevitável que o carro fique pesado na frente. Além disso, como as rodas dianteiras lidam com a potência e a direção, o contato nos pneus dianteiros é dividido entre a manutenção do movimento para frente e a conversão nas curvas. Por esses motivos, esse layout é relativamente inadequado para veículos de alta potência.



MR

Motor central, tração traseira

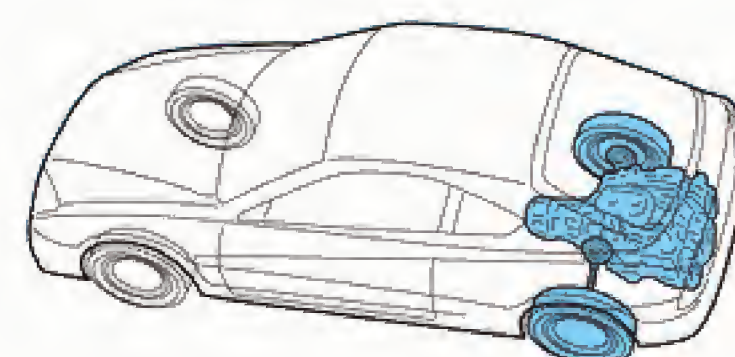
Um layout com o motor localizado no centro do carro, movendo as rodas traseiras. A montagem do motor próximo ao centro do carro aproxima-o do centro de gravidade, o que possibilita fazer curvas mais acentuadas. Além disso, proporciona contato máximo nos pneus dianteiros e traseiros durante a aceleração e a desaceleração. Esse layout é muito comum em carros esportivos e de corrida construídos para atingir altas velocidades.



RR

Motor traseiro, tração traseira

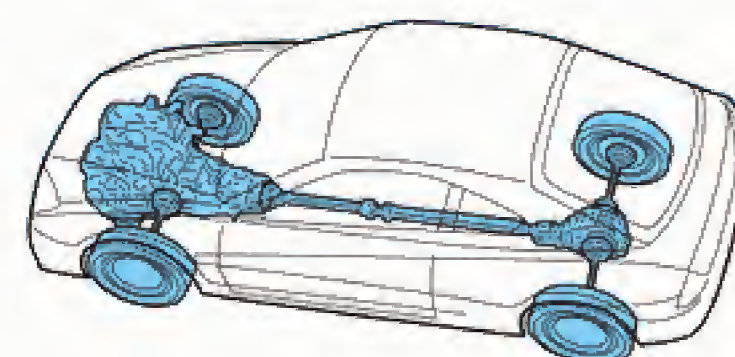
Um layout de tração traseira com o motor montado no balanço traseiro, atrás das rodas. Esse layout concentra o peso na traseira do veículo, empurrando as rodas traseiras contra a superfície da estrada e, com isso, melhora a tração e a aceleração. No entanto, reduz a carga nas rodas dianteiras, facilitando a subviragem logo ao entrar numa curva. Além disso, como há muito peso nas rodas traseiras, se a extremidade traseira derrapar, isso ocorrerá de forma muito brusca, e, por isso, é necessário ter muita habilidade de pilotagem para a recuperação.



4x4

Tração nas quatro rodas

Uma configuração em que a potência é distribuída para as quatro rodas. Apesar do maior peso, esse layout é o melhor em termos de arranque e de aceleração. Porém, sua estabilidade extremamente alta pode fazer com que seja difícil fazer curvas. É possível transformar todos os layouts em tração nas quatro rodas, mas o layout no qual se baseia terá efeito significativo no controle final. Em geral, as rodas dianteiras ou traseiras serão consideradas as "principais" rodas de tração, e mais torque será fornecido às rodas opostas se as rodas "principais" derraparem.



O coração do automóvel

O motor está no coração do carro. Entender o motor e como ele funciona é a chave para aproveitar todo o potencial de um veículo.

Mecanismo e princípios

A maioria dos carros é equipada com um motor de movimento alternado com um ciclo de quatro cursos. Os motores de movimento alternado são compostos de cilindros dentro dos quais os pistões se movem para frente e para trás para criar energia. Os quatro cursos do motor são admissão, compressão, potência e exaustão.

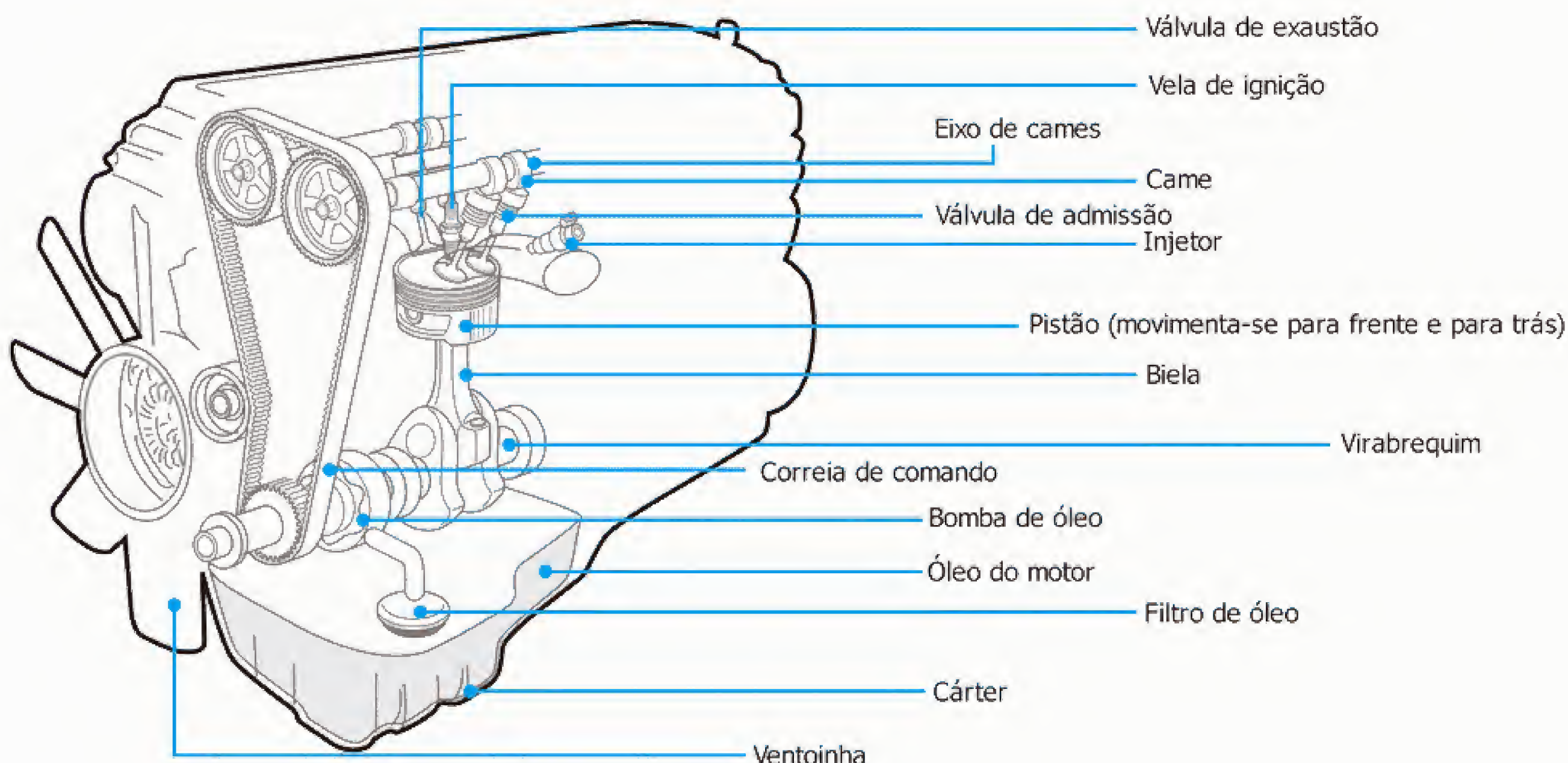
Vamos analisar melhor esses quatro cursos do ciclo. No curso de admissão, a válvula de admissão se abre logo antes de o pistão alcançar o ponto morto superior, a posição na qual o pistão fica no topo do cilindro. Quando o pistão começa a retornar novamente, uma mistura de ar e combustível é atraída pela válvula aberta. Quando o pistão atinge a parte inferior do cilindro, o ciclo de admissão está concluído e começa o ciclo de compressão, durante o qual todas as válvulas se fecham e o pistão que está subindo comprime o ar e o combustível no cilindro.

Logo após o pistão atingir a parte superior do cilindro comprimindo a mistura ar-combustível, a vela de ignição gera uma faísca, inflamando a mistura de ar-combustível. Esse é o

ciclo de potência, no qual o interior do cilindro pode atingir temperaturas de até 2000°C e pressões de até 200 atmosferas. Essa força de combustão de alta temperatura e alta pressão empurra o pistão para baixo, girando o virabrequim e, assim, convertendo energia térmica em energia mecânica (rotacional).

Quando o pistão atinge a parte inferior novamente, começa o ciclo da exaustão, e as válvulas de exaustão se abrem para que os gases restantes possam ser eliminados. Esses gases não são eliminados pelo movimento do pistão, mas são, em grande parte, eliminados pelo seu próprio calor e pressão, que fazem com que eles saiam através das válvulas. Assim que o pistão atinge a parte superior novamente, as válvulas de admissão se abrem, e o ciclo começa novamente.

Um motor de movimento alternado passa por esses ciclos de quatro cursos e virar o virabrequim centenas de vezes por minuto quando ocioso, e milhares de vezes por minuto em alta velocidade.

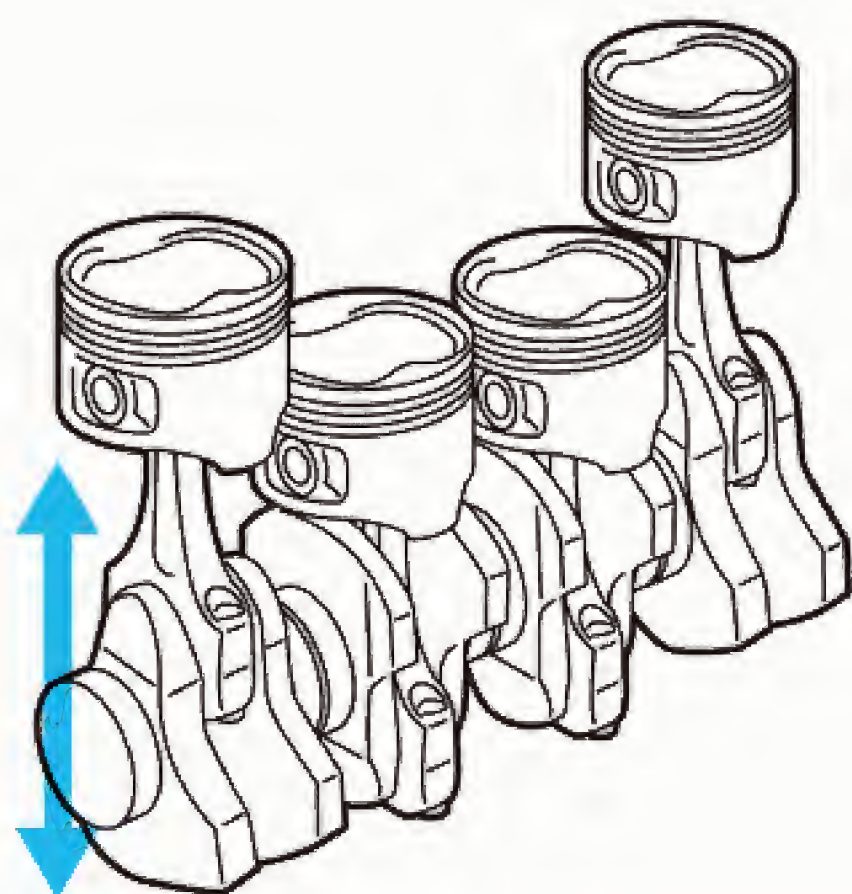


Como funciona o motor?

Tipos de configuração de cilindros

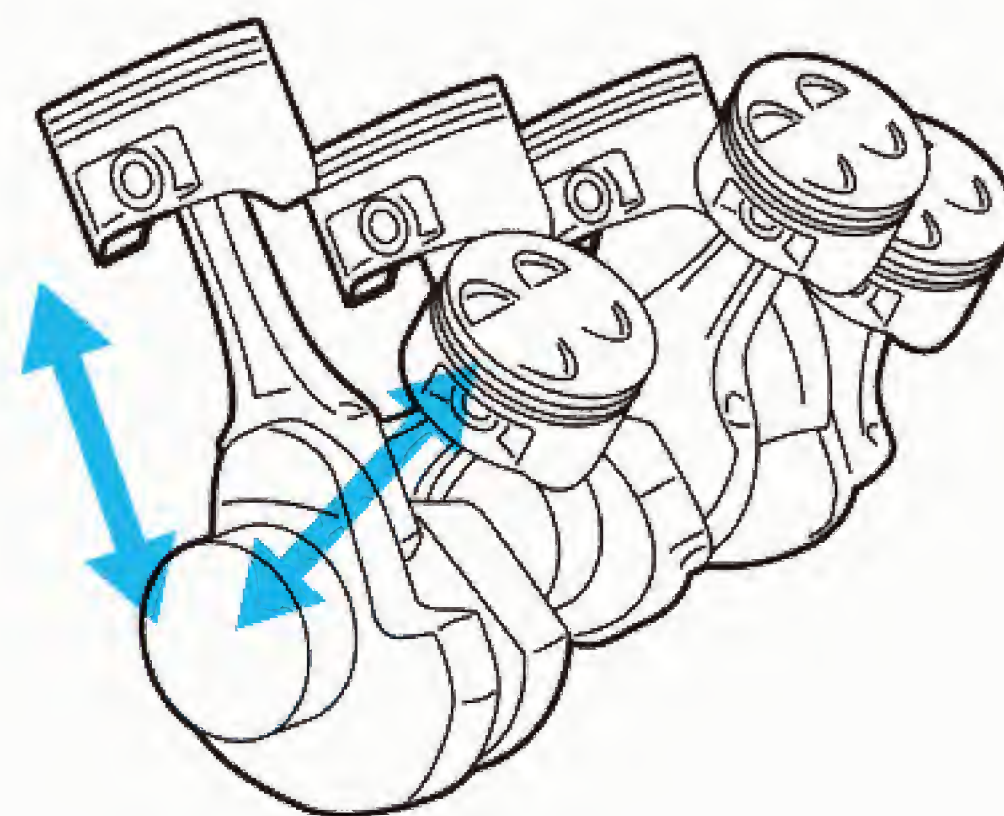
Motor em linha

Vários cilindros alinhados em uma única linha. Todos os cilindros compartilham um virabrequim, e o bloco de cilindros consiste em uma única peça. Desta forma, a construção é simples, e o motor pode ter um peso relativamente baixo. No entanto, quanto mais cilindros, mais longo será o motor, o que começa a se tornar um entrave em termos de espaço necessário dentro do veículo.



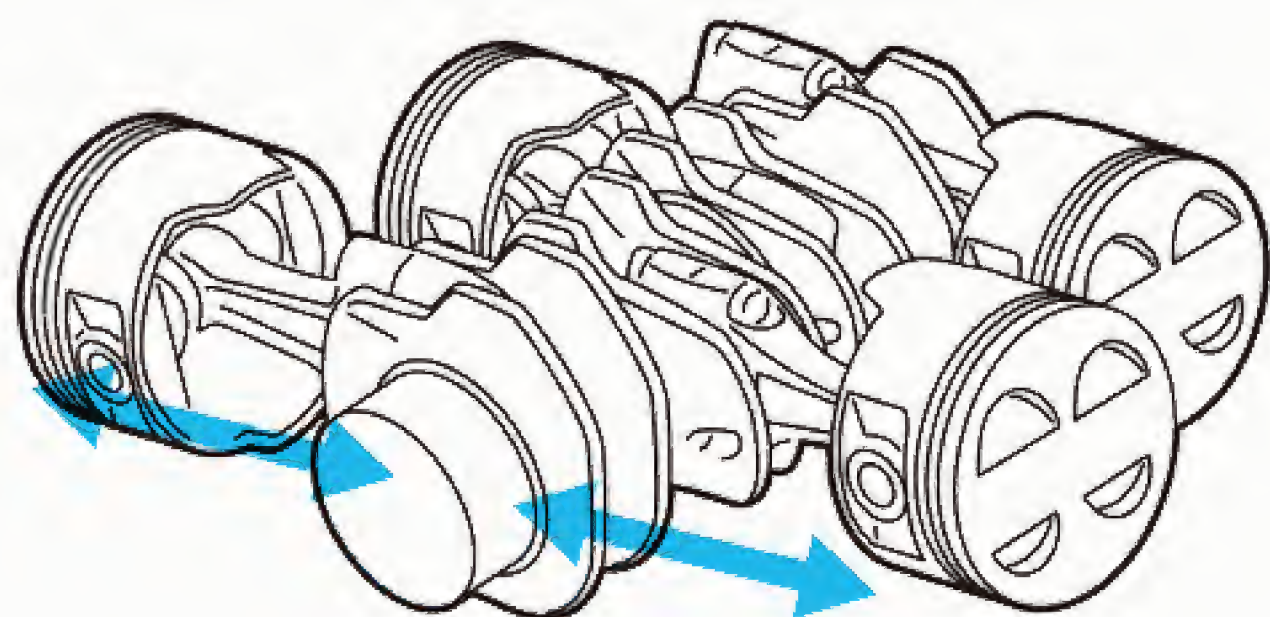
Motor em V

Cilindros alternados à esquerda e à direita, montados em forma de V. O virabrequim pode ser diminuído, e tem a vantagem de ser compacto mesmo com um número grande de cilindros. Independentemente do número de cilindros, há pouca vibração, e o bloco de cilindros e o virabrequim curtos são superiores em termos de rigidez.



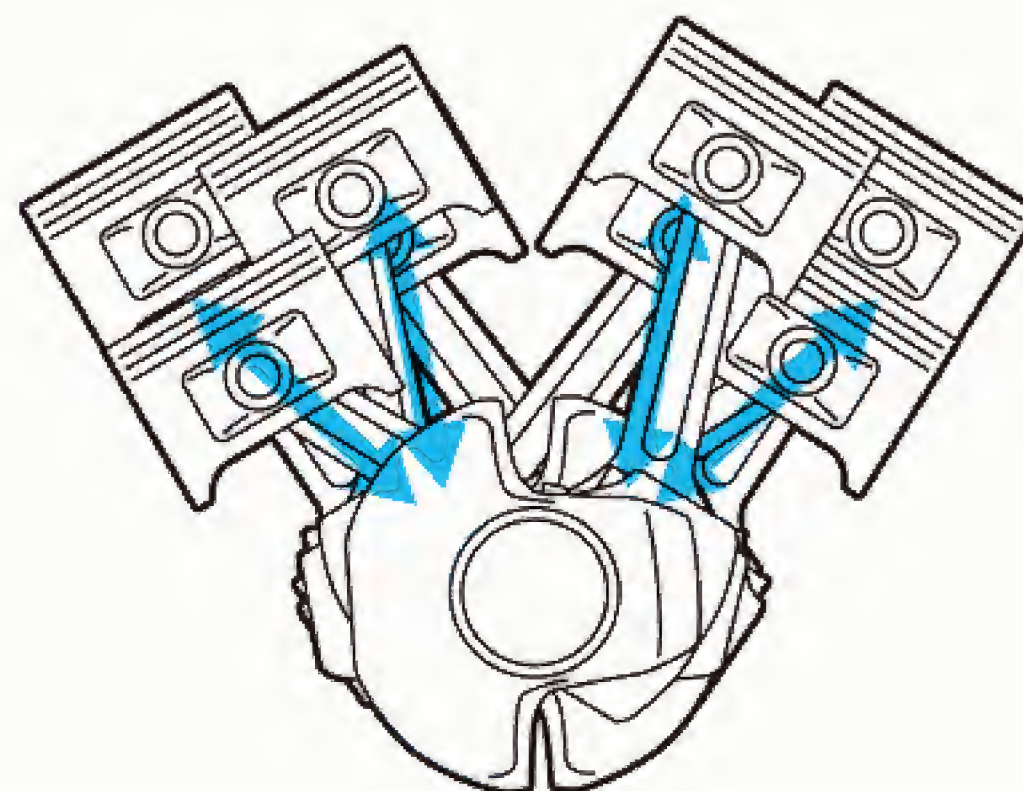
Motor plano

Cilindros alternados dispostos na horizontal. Os cilindros direito e esquerdo estão horizontalmente opostos ao virabrequim no centro. Eles algumas vezes são chamados de motores "boxer", pois os pistões se movendo para a esquerda e a direita se assemelham a socos de um boxeador. A vantagem desse motor é o baixo centro de gravidade devido à redução na altura.



Motor em W

Esta denominação é usada para se referir a motores com um único virabrequim com três linhas de cilindros dispostos em forma de W, mas em anos recentes, veículos com dois motores em V de ângulo estreito conectados também são chamados de motor em W. A largura do motor em W é maior do que a do motor em V, mas o virabrequim mais curto cria uma vantagem em motores de 12 cilindros ou mais.



Configurações da válvula

Em um motor de quatro cursos, há dois tipos de válvulas: as válvulas de admissão, que se abrem durante o curso de admissão, permitindo a entrada da mistura de ar e combustível no motor, e as válvulas de exaustão, que se abrem durante o curso de exaustão, liberando gases residuais. As válvulas estão localizadas no cabeçote do cilindro e exercem uma função importante na conexão e no bloqueio da câmara de combustão.

Nos motores modernos, o eixo de cames geralmente se encontra na parte superior do motor, o que permite um movimento mais confiável das válvulas. A maioria dos motores modernos tem 4 válvulas por cilindro, com 2 válvulas de admissão e 2 de exaustão, mas os motores com foco na eficiência de combustão na faixa baixa de RPM, com 2 válvulas por cilindro, compostas de 1 válvula de admissão e 1 de exaustão, provavelmente retornarão no futuro.

Atualmente, há uma tendência à temporização de válvulas variável. No início, isso permitia que as válvulas tivessem duas temporizações, uma para baixas revoluções, e outra para altas revoluções. Porém, desenvolvimentos mais recentes possibilitam que a temporização das válvulas e a elevação sejam alternadas de modo contínuo para corresponder às revoluções do motor. No mais recente mecanismo de válvulas variáveis do motor da BMW "Valvetronic", o ajuste de potência é realizado sem válvulas borboleta, atingindo maior eficiência.

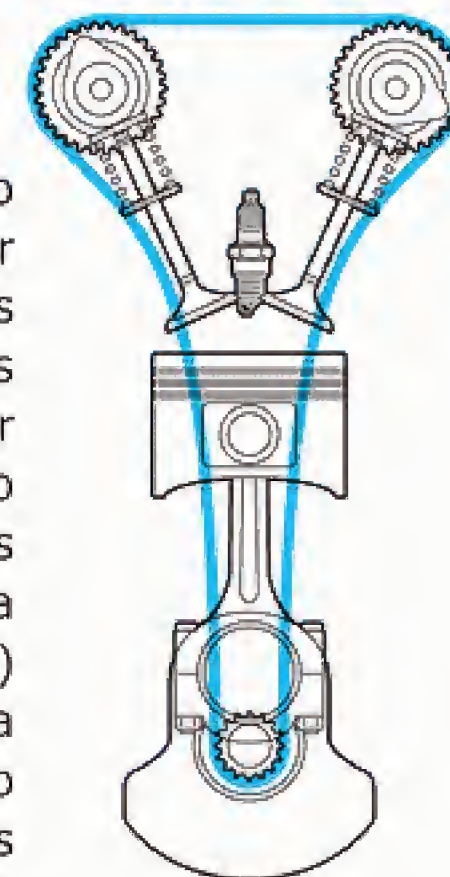


Tipos de configuração de válvulas

DOHC

► Duplo eixo de cames suspenso

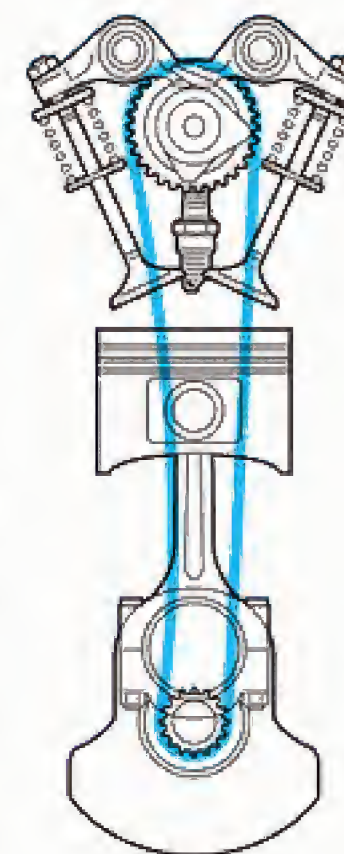
DOHC é a sigla em inglês para duplo eixo de cames suspenso. Em um motor DOHC, um eixo de cames opera as válvulas de admissão e outro opera as válvulas de exaustão. Além de garantir operação estável através do compartilhamento do trabalho entre os dois eixos de cames, isso também significa que há menos massa alternativa (inércia) no comando de válvulas, o que possibilita atingir valores de RPM mais altos com o motor. Por sua vez, mais rotações melhoram a geração de potência, motivo pelo qual esse layout tem sido adotado na maioria dos motores de alto desempenho.



SOHC

► Único eixo de cames suspenso

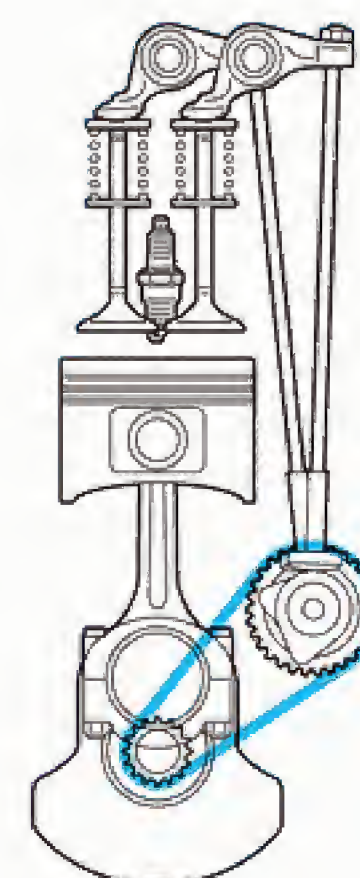
Um único eixo de cames suspenso é um motor com um único eixo de cames que opera as válvulas de exaustão e de admissão. Dependendo do tipo de câmara de combustão, o eixo de cames pode operar diretamente as válvulas ou operar as válvulas por braços oscilantes. Se comparado ao motor OHV, os movimentos das válvulas são mais confiáveis, possibilitando revoluções mais altas. Se comparado a um motor DOHC, os movimentos das válvulas não são tão suaves, mas existem motores SOHC de alto RPM, por isso, nem sempre eles são inferiores.



OHV

► Válvula suspensa

Uma válvula suspensa é, como sugere o nome, um sistema em que as válvulas são montadas no cabeçote do cilindro. Diferente das configurações SOHC ou DOHC, o eixo de cames está localizado na lateral dos cilindros e opera as válvulas com braços compridos chamados de "hastes de depressão". Essa estrutura é simples e de fácil manutenção. Porém, as operações da válvula desses tipos de motores não são tão confiáveis em RPM altos, e geralmente não é adequada para alta potência.



Motores rotativos

Os motores rotativos (também conhecidos como motores Wankel) produzem energia de maneira semelhante aos motores alternativos, pois eles passam pelas quatro etapas de admissão, compressão, potência e exaustão. No entanto, esses processos são realizados de forma muito diferente.

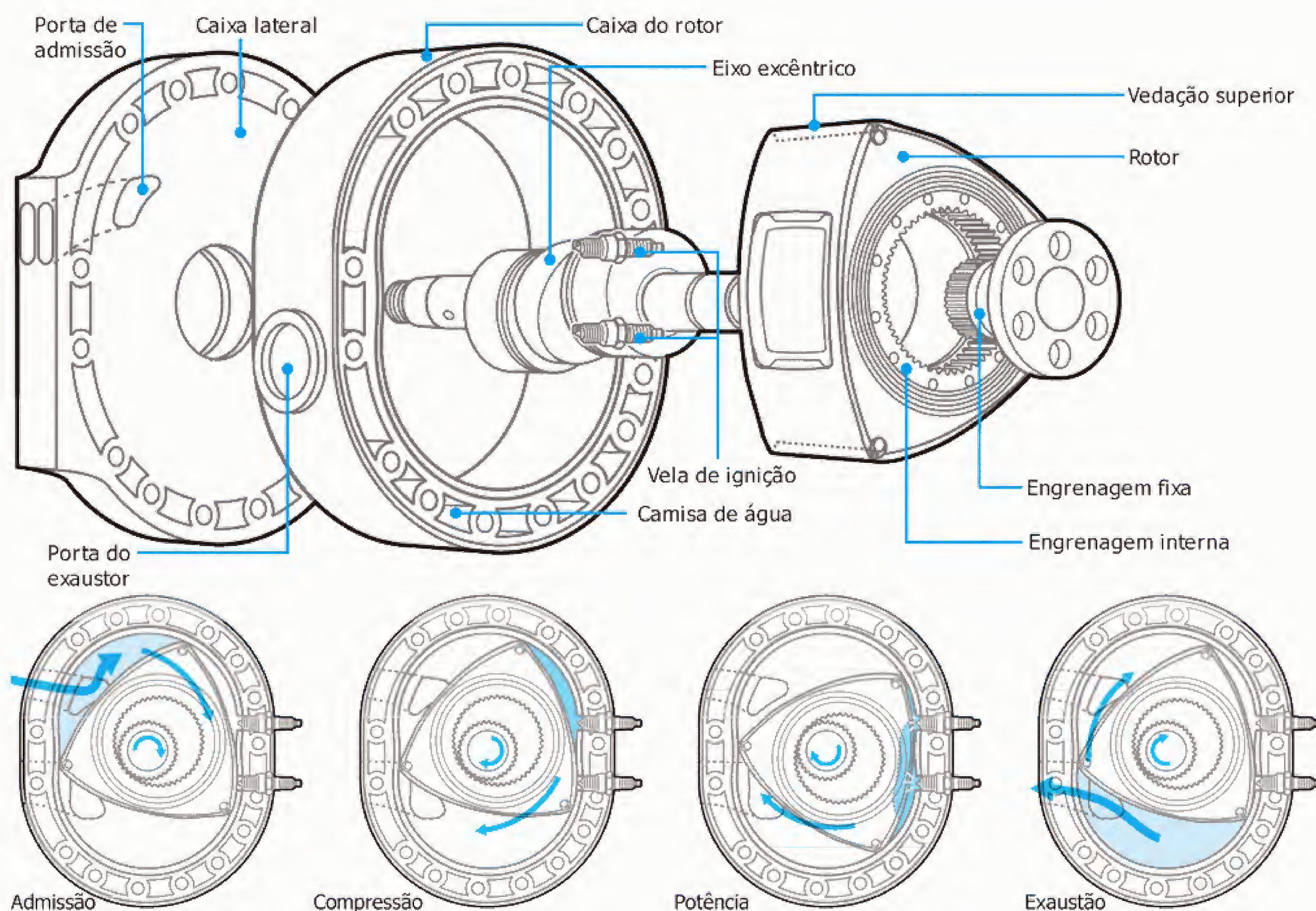
Em vez de cilindros, esse tipo de motor tem uma caixa de rotor em forma de casulo (epitrocoide), dentro da qual fica um rotor triangular. Esse rotor orbita o eixo excêntrico dentro da caixa, que expande e contrai os espaços entre ele e a caixa, sendo nesses espaços que ocorrem a admissão, a compressão, a potência e a exaustão. Um motor rotativo geralmente será composto por dois ou três desses rotores movendo-se em número igual dentro da caixa do rotor.

Em motores típicos, os movimentos alternativos de vários pistões dificulta o controle de potência suave e também produz muito ruído e vibração. No entanto, como os motores rotativos se baseiam no movimento giratório, a operação do motor é muito mais suave. Outro benefício desse tipo de motor é a falta de válvulas, o que reduz significativamente o número de peças. Os

motores rotativos também costumavam ser significativamente mais leves e, embora avanços na tecnologia do motor alternativo tenham reduzido essa diferença, os motores rotativos ainda são os mais compactos dentre os dois projetos.

A temporização dos processos de aspiração e exaustão em um motor rotativo depende do formato e do posicionamento das portas (os canais pelos quais os gases entram e saem) na parede da caixa do rotor. O ajuste da aspiração e da exaustão de um motor rotativo está relacionado à mudança do formato e da posição dessas portas. Além disso, como os motores rotativos não têm válvula de exaustão e os gases de exaustão são emitidos diretamente pela porta de exaustão, sem interferência, eles funcionam bem com turbocompressores.

Comparado a um motor alternativo, um motor rotativo tem desvantagem em termos de consumo de combustível. Isso se deve à área da superfície relativamente grande em relação à capacidade da câmara de combustão, o que causa maior perda de calor e menor eficiência na conversão da energia térmica em energia mecânica.



Indução forçada

Um aumento na quantidade de ar que flui em direção a um motor resultará em um aumento de potência. A maneira mais fácil de obter esse resultado é aumentando a cilindrada do motor.

No entanto, também é possível obter-se um efeito semelhante sem alterar a cilindrada, por meio de um processo conhecido como "indução forçada". Esse processo envolve forçar mais ar para o motor por meio de compressão. Dispositivos que realizam esse processo estão separados em duas categorias: supercompressores e turbocompressores.

A quantidade de pressão adicionada quando o ar é comprimido é conhecida como "reforço", sendo que quanto mais reforço, mais potência pode ser alcançada. Uma pressão atmosférica é conhecida como 1 bar, ou 1 kg/cm² de ar. Se o reforço for de 1 bar, isso perfaz um total de 2 bars de pressão

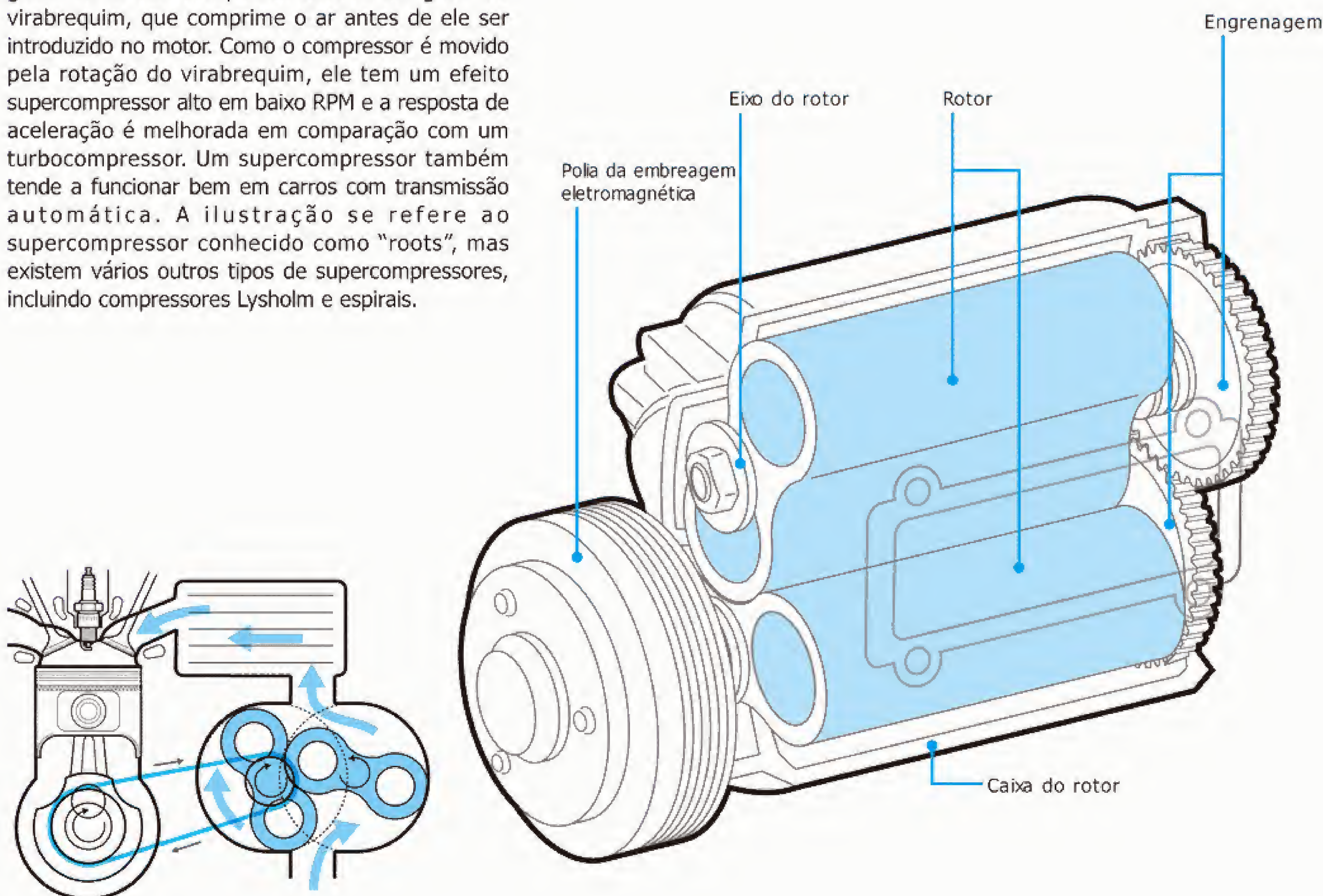
atmosférica (1 bar de pressão de ar natural mais 1 bar de reforço) de ar entrando no motor, o que é o dobro do valor normal.

O problema com a indução forçada é que à medida que a pressão aumenta, a energia de combustão também aumenta, o que pode causar danos ao motor. Por esse motivo, as peças internas dos motores com turbocompressores e supercompressores geralmente são reforçadas, e a taxa de compressão é diminuída para solucionar o problema da combustão inadequada.

Quando o ar é comprimido, sua temperatura aumenta e sua densidade diminui. Esse efeito é ainda mais acentuado em condições de direção intensas ou em climas quentes, impedindo que o motor alcance a potência de saída máxima. Diz-se que o aumento de um grau na temperatura causa uma perda de

Supercompressores

Um supercompressor é um compressor, geralmente movido por uma correia ligada ao virabrequim, que comprime o ar antes de ele ser introduzido no motor. Como o compressor é movido pela rotação do virabrequim, ele tem um efeito supercompressor alto em baixo RPM e a resposta de aceleração é melhorada em comparação com um turbocompressor. Um supercompressor também tende a funcionar bem em carros com transmissão automática. A ilustração se refere ao supercompressor conhecido como "roots", mas existem vários outros tipos de supercompressores, incluindo compressores Lysholm e espirais.



Alcançando o mesmo efeito que o aumento de cilindrada

aproximadamente 1 cavalo-força. Por essa razão, é normal incluir um intercooler para resfriar o ar comprimido.

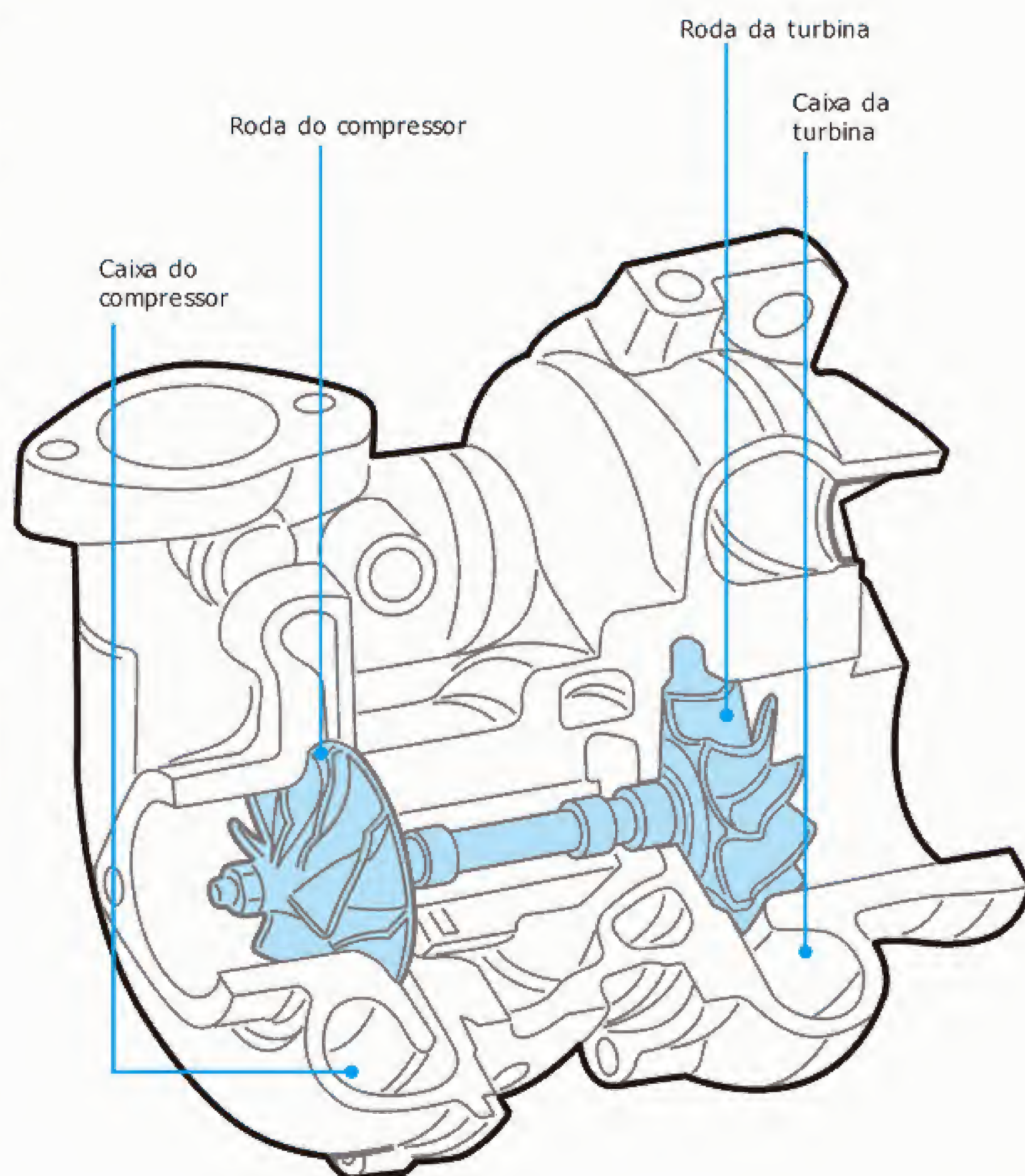
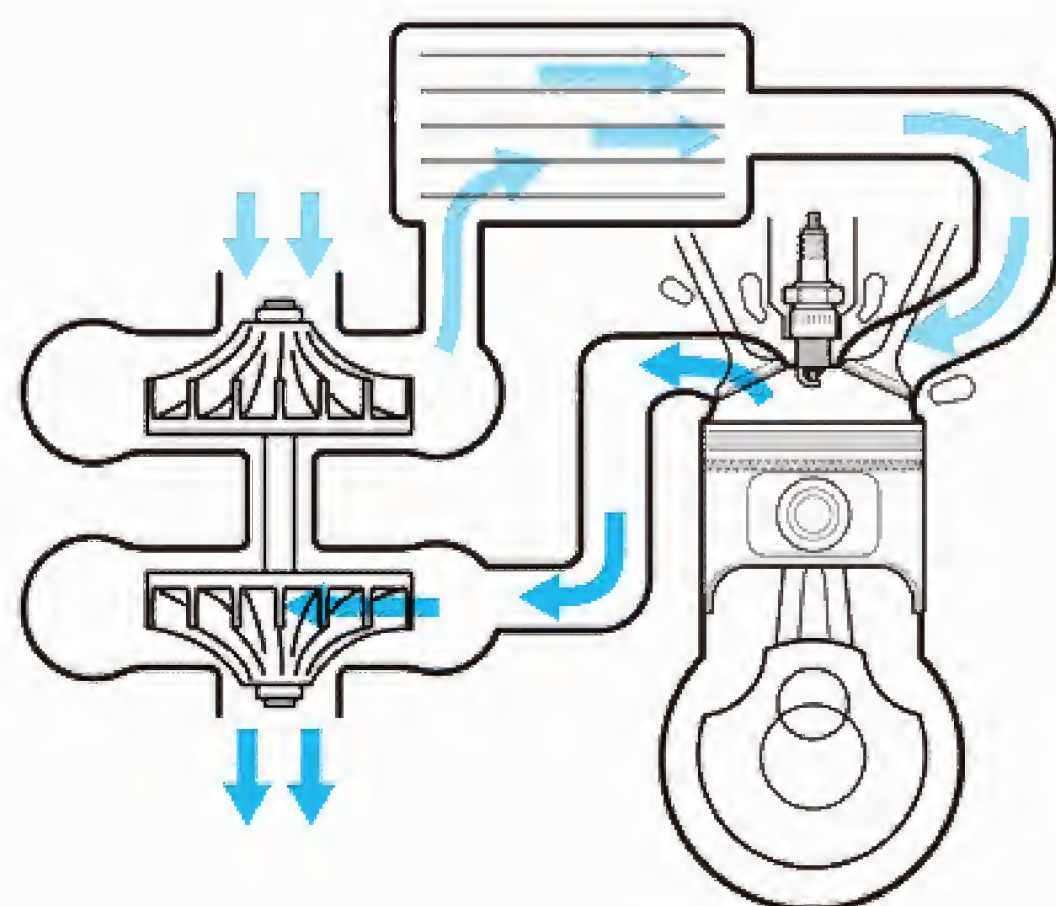
Os turbocompressores demoram a serem ativados, pois sua indução forçada é movida pela energia de exaustão e há um atraso de tempo até que a pressão de admissão se eleve. Por outro lado, supercompressores movidos pelo virabrequim do motor não sofrem esse atraso, mas eles extraem uma pequena

quantidade de potência do motor, porque são acionados pelo virabrequim.

Os motores que aproveitam as vantagens das duas configurações, fazendo uso de um supercompressor para baixas revoluções e de um turbocompressor para altas revoluções, começaram recentemente a despertar a atenção.

Turbocompressores

Chamados de “turbo” devido à turbina que movimenta seu compressor. Um turbocompressor usa os gases liberados por meio do escapamento para girar sua turbina. Como ele usa a energia dos gases de exaustão, não há perda de energia a altas revoluções, como ocorreria com um supercompressor. No entanto, em valores de RPM baixos, quando há menos gás de exaustão produzido, a turbina não girará na velocidade operacional e demorará para que a turbina role (acelere) na aceleração. Esse atraso momentâneo na resposta é conhecido como “turbo lag”. Vários sistemas foram pensados para compensar essa situação, mas ainda continuam a evoluir. Na Europa, os turbocompressores estão sendo usados cada vez mais para motores menores com maior economia de combustível.





Sistemas híbridos

A finalidade de um sistema híbrido é aumentar a economia de combustível usando um motor mecânico e um motor elétrico. O Japão é o líder no desenvolvimento de carros híbridos e, embora esses sistemas híbridos sejam conhecidos principalmente por seus benefícios ambientais, as montadoras de esportivos europeias começaram a desenvolver alguns com potencial para alimentar a nova geração de veículos de alto desempenho.

O ponto fraco de um motor de combustão interna é sua ineficiência em marcha lenta e aceleração quando estacionado. Por outro lado, um motor elétrico pode gerar torque máximo com praticamente zero revoluções e, devido à alta eficiência, pode compensar pelo baixo desempenho de um motor mecânico com baixo nível de revoluções. Um motor a combustão ainda é mais eficiente em velocidade, então a eficiência geral do carro híbrido é alcançada com a combinação das forças dos dois sistemas.

Outra vantagem de se ter um motor elétrico e uma bateria é que um sistema híbrido também se beneficia da capacidade de recuperação de energia. Ao desacelerar tirando o pé do pedal

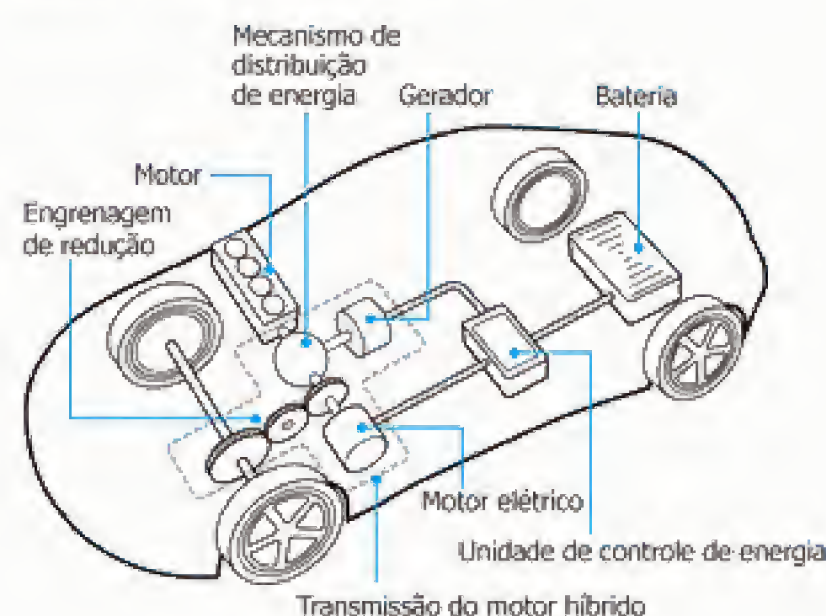
ou quando freando, o motor age como um gerador impulsionado pela rotação das rodas, que recarrega a bateria. Essa energia pode ser reutilizada depois para alimentar o motor. Dessa forma, a energia geralmente desperdiçada como calor na frenagem pode ser reutilizada para gerar eletricidade.

Outro benefício é que o motor elétrico pode ser programado para se comportar como um supercompressor para o motor mecânico. Muitos híbridos feitos por montadoras europeias na verdade enfatizam essa vantagem, alcançando uma sensação de direção de um motor de alta cilindrada (com um motor com baixa cilindrada), adicionando motores elétricos em vez de supercompressores. Os sistemas híbridos e seus méritos variam dependendo de como o motor elétrico e o motor mecânico são feitos para funcionarem juntos. Hoje existem vários tipos de sistemas híbridos em uso comercial, mas a variedade provavelmente continuará a aumentar. Os motores híbridos para supercarros estão atualmente em desenvolvimento e será interessante ver qual tipo de sistema acabará por ser adotado no futuro.

Dirigir usando motor mecânico e elétrico

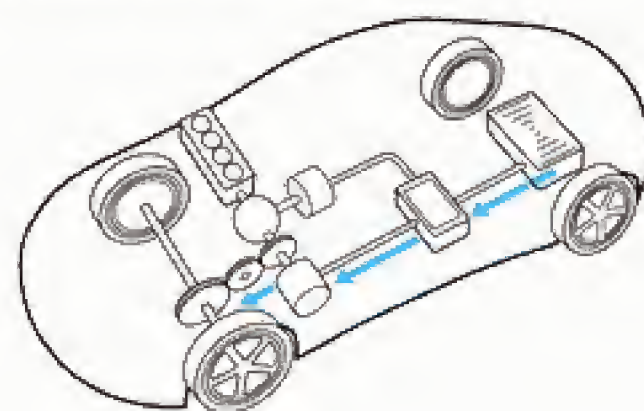
O Toyota Prius

Visão geral do sistema



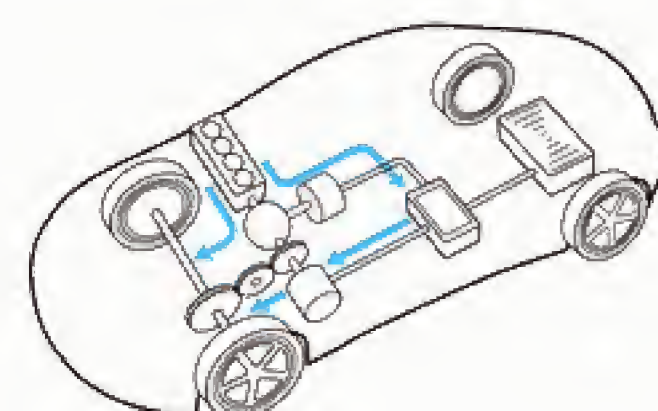
Na arrancada ou em velocidades baixas/médias

Ao arrancar ou acelerar de uma velocidade baixa para média, o motor mecânico não é eficiente, sendo parado. A potência de impulsão é fornecida somente pelo motor elétrico.



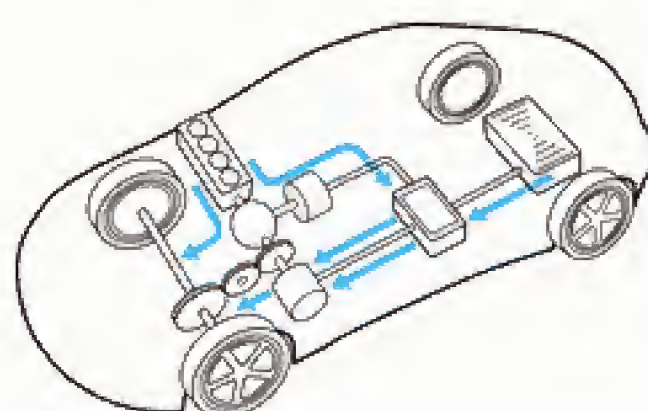
Condução normal

A potência do motor é dividida em dois sistemas pelo mecanismo de distribuição de potência, um para acionar o gerador e outro para acionar diretamente as rodas.



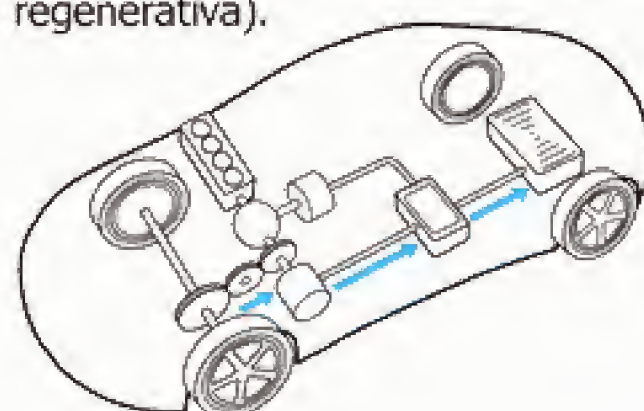
Rápida aceleração

Reforçada pela bateria. A potência de alimentação tanto do motor mecânico quanto do elétrico é combinada, resultando em uma boa resposta e aceleração suave.



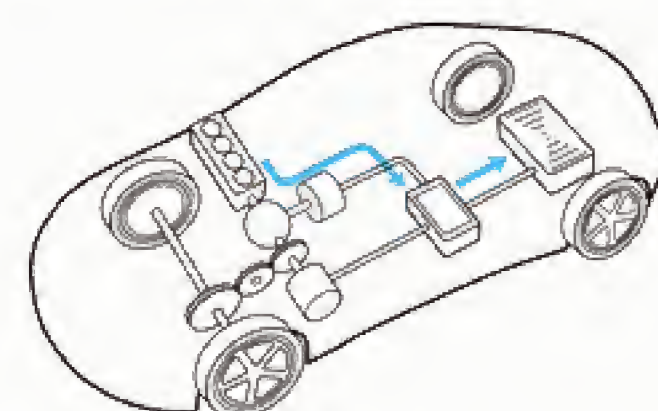
Desaceleração e frenagem

As rodas acionam o motor elétrico, que funciona como um gerador, transformando eficientemente a energia de frenagem do carro em eletricidade, que é usada para recarregar a bateria (também chamada de frenagem regenerativa).



Carregamento da bateria

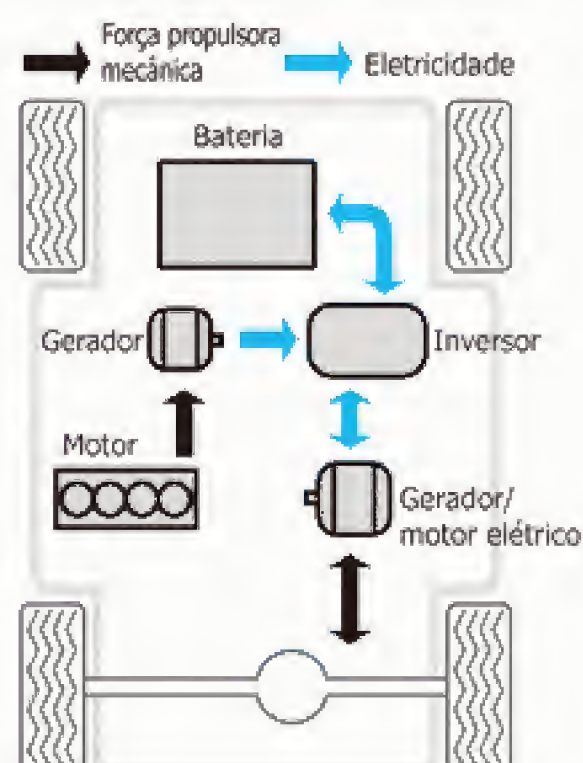
A bateria foi projetada para manter um nível constante de carga. Quando a bateria está com carga baixa, o motor mecânico será acionado, acionará o gerador e recarregará a bateria.



Tipos de sistemas híbridos

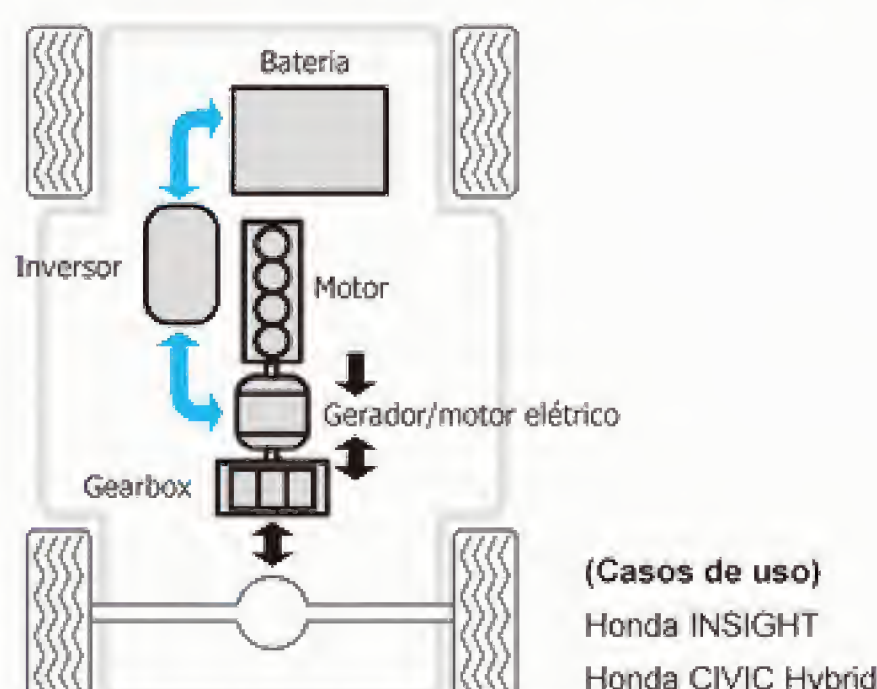
Híbrido em série

A função do motor mecânico limita-se a girar o gerador, e somente o motor elétrico impulsiona o carro. O sistema é simples, e o motor mecânico pode ficar em qualquer lugar. Basicamente, um carro elétrico com um gerador.



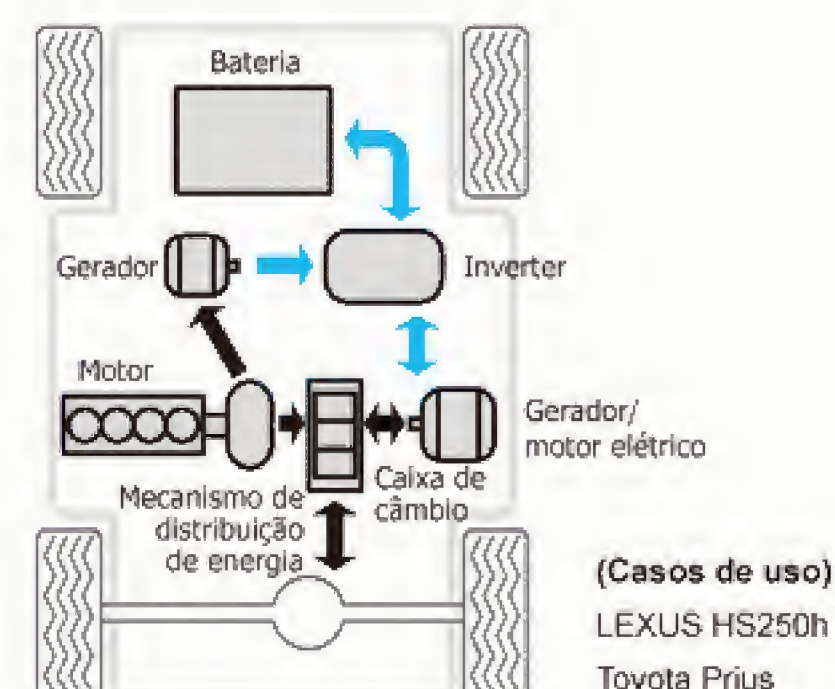
Híbrido paralelo

O motor mecânico e o elétrico funcionam paralelamente. O motor elétrico geralmente fica entre o motor mecânico e a transmissão, proporcionando alta produtividade. O motor mecânico diminuído ainda tem função especial no fornecimento de força de impulsão, sendo que o objetivo do motor elétrico é auxiliar o motor mecânico, em uma tentativa de combinar o desempenho de acionamento e a eficiência de combustível.



Série de híbridos paralelos

Também conhecido como híbrido com potência distribuída. O mecanismo de distribuição de energia usa uma engrenagem planetária para dividir a potência entre o gerador e o motor. Na aceleração inicial e em baixas velocidades, a bateria fornece a potência, enquanto, durante a operação normal, o motor mecânico opera na faixa de RPM eficiente, enquanto ainda opera o gerador e carrega a bateria.



Palavras-chave de desempenho

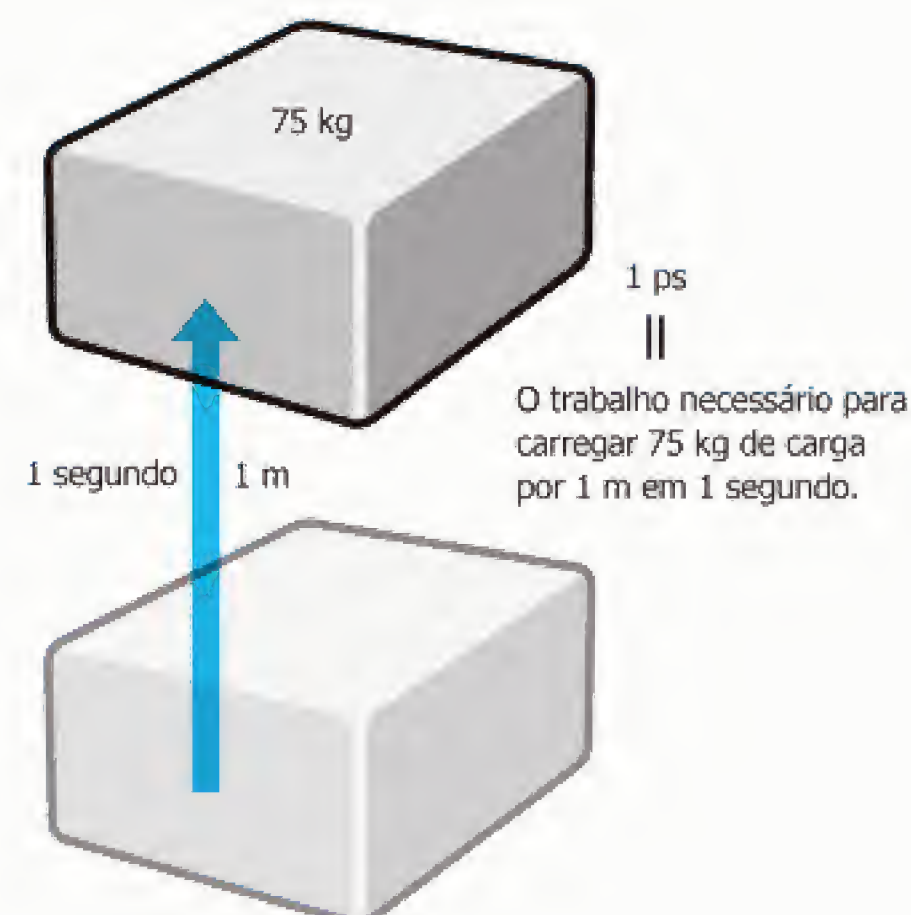
Ao ler as especificações de catálogo de um veículo, você se deparará com vários números e termos especializados. É importante ter um bom entendimento deles para realmente entender as características e o potencial de um carro.

Há cinco termos básicos que definem o potencial de um motor. Você pode pensar que conhece termos como “cavalo-força” e “torque”, mas vamos analisá-los mais de perto, para que possamos entender o que eles significam para o desempenho de um veículo.



Cavalo-força

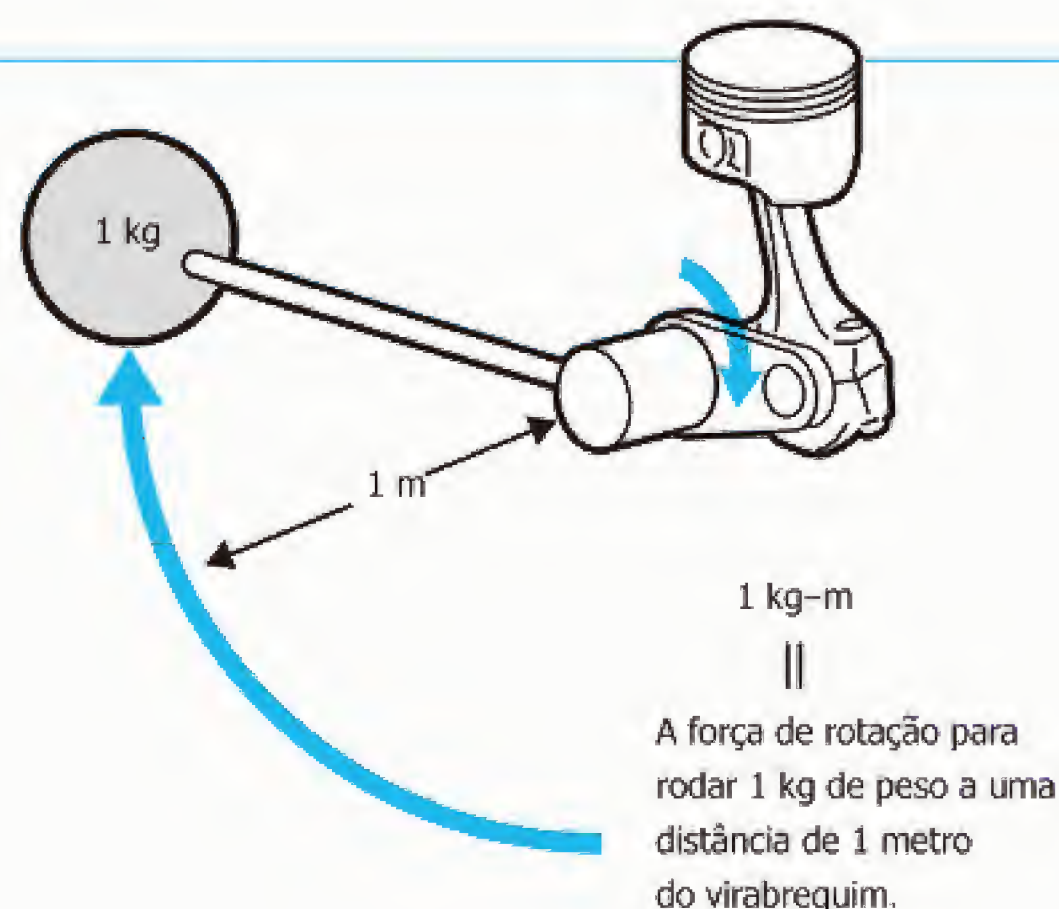
Cavalo-força representa o limite superior da capacidade do motor e geralmente é medido em unidades chamadas “ps”, ou “HP”. Um cavalo-força representa a capacidade do motor de carregar 75 kg de carga por 1 metro em 1 segundo. Em outras palavras, um motor de 100 cavalos-força poderia carregar 1 tonelada por 7,5 metros em 1 segundo com máxima potência. O cavalo-força é calculado multiplicando-se o torque pelas revoluções do motor, sendo assim, um motor com baixa cilindrada ainda pode fornecer uma quantidade grande de potência de saída se um nível alto o suficiente de revoluções puder ser alcançado. Internacionalmente, o cavalo-força também é às vezes listado como kW (1 PS = 0,735 kW).



Torque

O torque é a medida da força de rotação. Por exemplo, usar 1 kg de força para girar um parafuso com uma chave inglesa com 1 metro de comprimento estaria exercendo uma força de rotação ou torque de 1 kg-m. Em termos de motores, o torque descreve a força agindo para girar o virabrequim.

Quanto maior o torque, mais forte a força que mantém as revoluções do motor e mais fácil será para o piloto controlar o motor.



Cilindrada/número de cilindros

A cilindrada descreve o volume de mistura de ar e combustível enviada a um motor. Em um motor alternativo, esse número é calculado multiplicando-se o volume dos cilindros onde o pistão se alterna pelo número de cilindros.

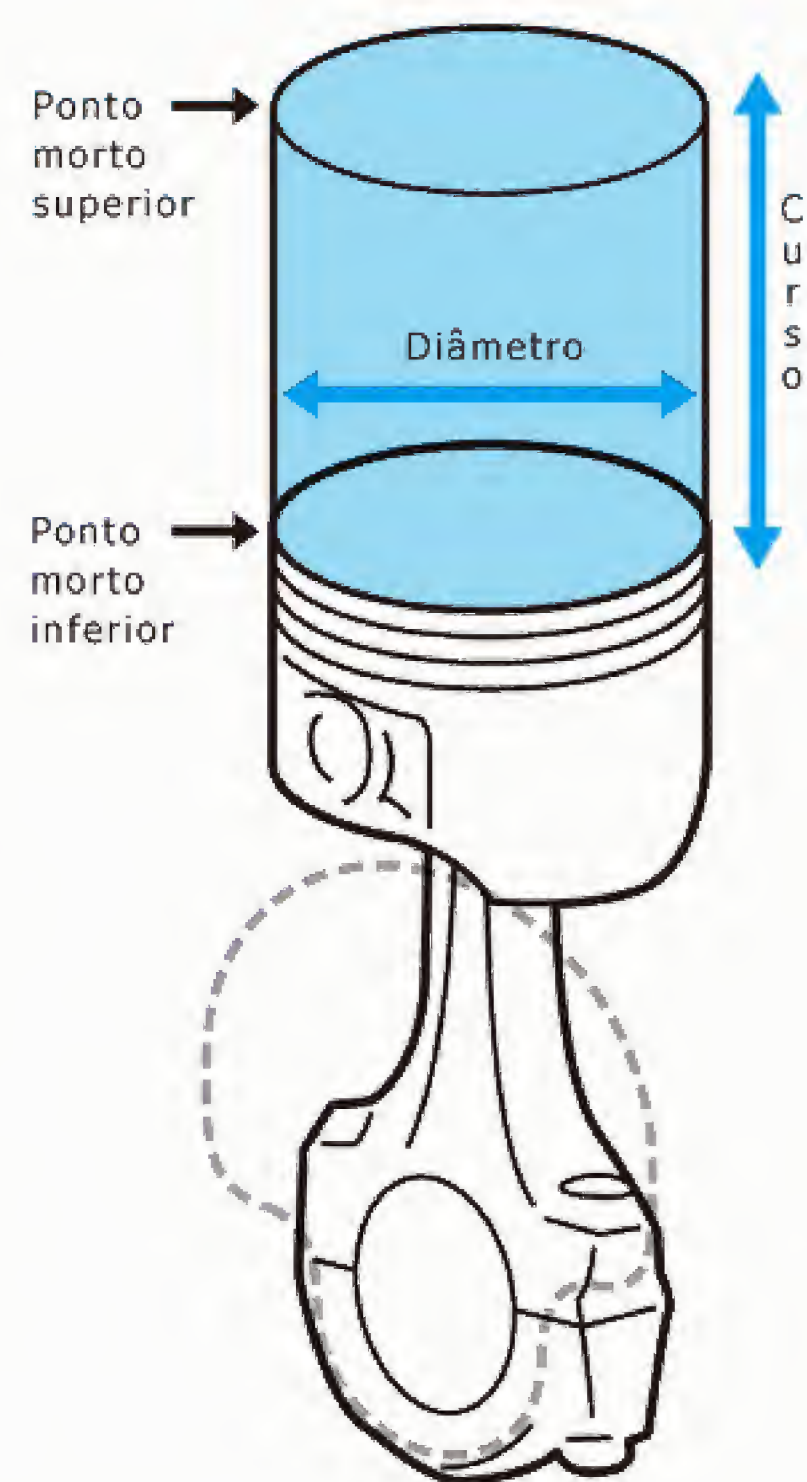
Quanto mais cilindrada, maior a potência de saída, mas quanto maior o volume de um único cilindro, menor a suavidade com que ele girará o motor. É por isso que o número de cilindros é aumentado para manter o volume por cilindro baixo. Além disso, aumentar o número de cilindros também aumenta o número de ciclos de combustão por 1 rotação do virabrequim, e a revolução do motor se torna mais suave.

De maneira geral, a cilindrada de um cilindro deveria ser entre 350 cc e 600 cc. No entanto, motores com maior número de cilindros são mais caros. Por isso, o tamanho do cilindro geralmente é determinado pelo tamanho e qualidade do veículo.

Relação diâmetro-curso

A relação diâmetro-curso é a relação do diâmetro do cilindro e o comprimento do movimento do pistão dentro do cilindro. Os motores com proporção menor que 1:1 são conhecidos como motores de "curso curto", enquanto aqueles com uma proporção maior que 1:1 são de "curso longo". Uma relação de exatamente 1:1 é conhecida como "quadrado". O tamanho da relação diâmetro-curso afeta como o motor se comporta. De maneira geral, um motor de curso longo pode produzir torque em nível baixo e médio de revoluções, mas potência em nível alto de revoluções é mais difícil de obter, enquanto o contrário seja verdadeiro para o motor de curso curto.

Também é útil saber que, quando o pistão está na parte mais superior do cilindro, isso é chamado de "ponto morto superior", e quando na parte inferior do cilindro, a condição é chamada de "ponto morto inferior".



Taxa de compressão

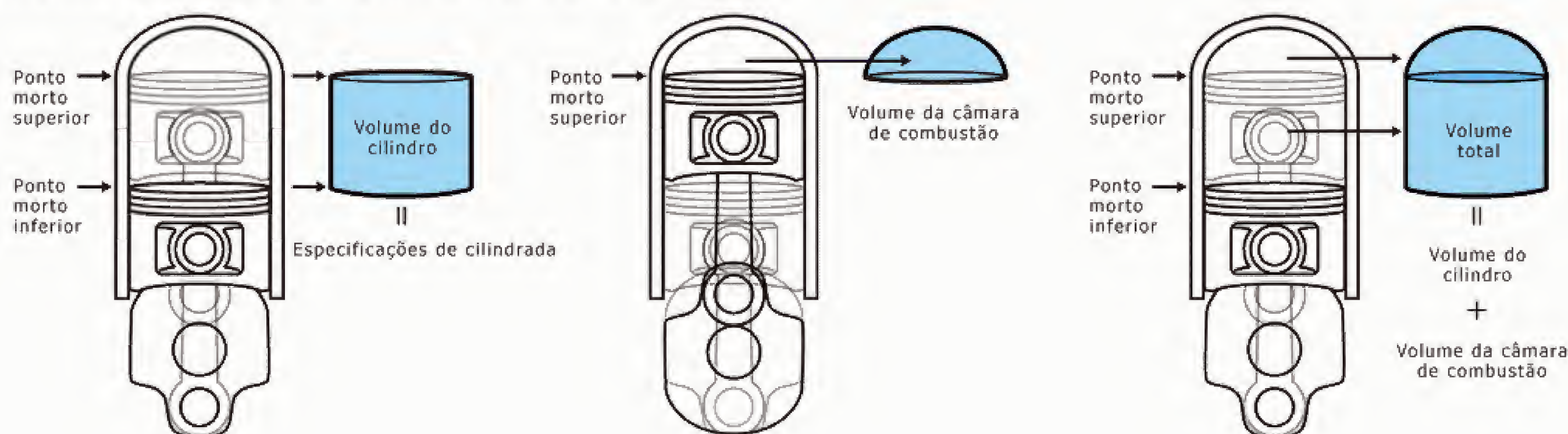
A taxa de compressão descreve quanto da mistura ar e combustível enviada ao motor é comprimida. A potência do motor é significativamente influenciada pela taxa de compressão.

A taxa de compressão é calculada dividindo-se o volume do cilindro quando aberto totalmente ("volume total do cilindro") por seu volume quando totalmente fechado ("volume da câmara de combustão"). O volume total do cilindro é a cilindrada mais o volume da câmara de combustão.

Por exemplo, em um motor de 4 cilindros e 2.000 cc, a cilindrada por cilindro é de 500 cc. Se o volume da câmara de

combustão é de 50 cc, o volume total do cilindro é de 550 cc. 550 cc divididas pelo volume da câmara de combustão (50 cc) resultam em uma taxa de compressão de 11.

Geralmente, motores aspirados naturalmente têm uma proporção de compressão que varia entre 9 e 11. As taxas de compressão acima de 10 produzem alta potência para o valor de cilindrada. Motores com dispositivos de indução forçada geralmente têm proporções de compressão que variam entre 7 e 9.



Transformar energia em velocidade

As engrenagens e a tração são necessárias para transformar energia em velocidade. As peças da transmissão têm impacto considerável na performance de direção.

Transmissão

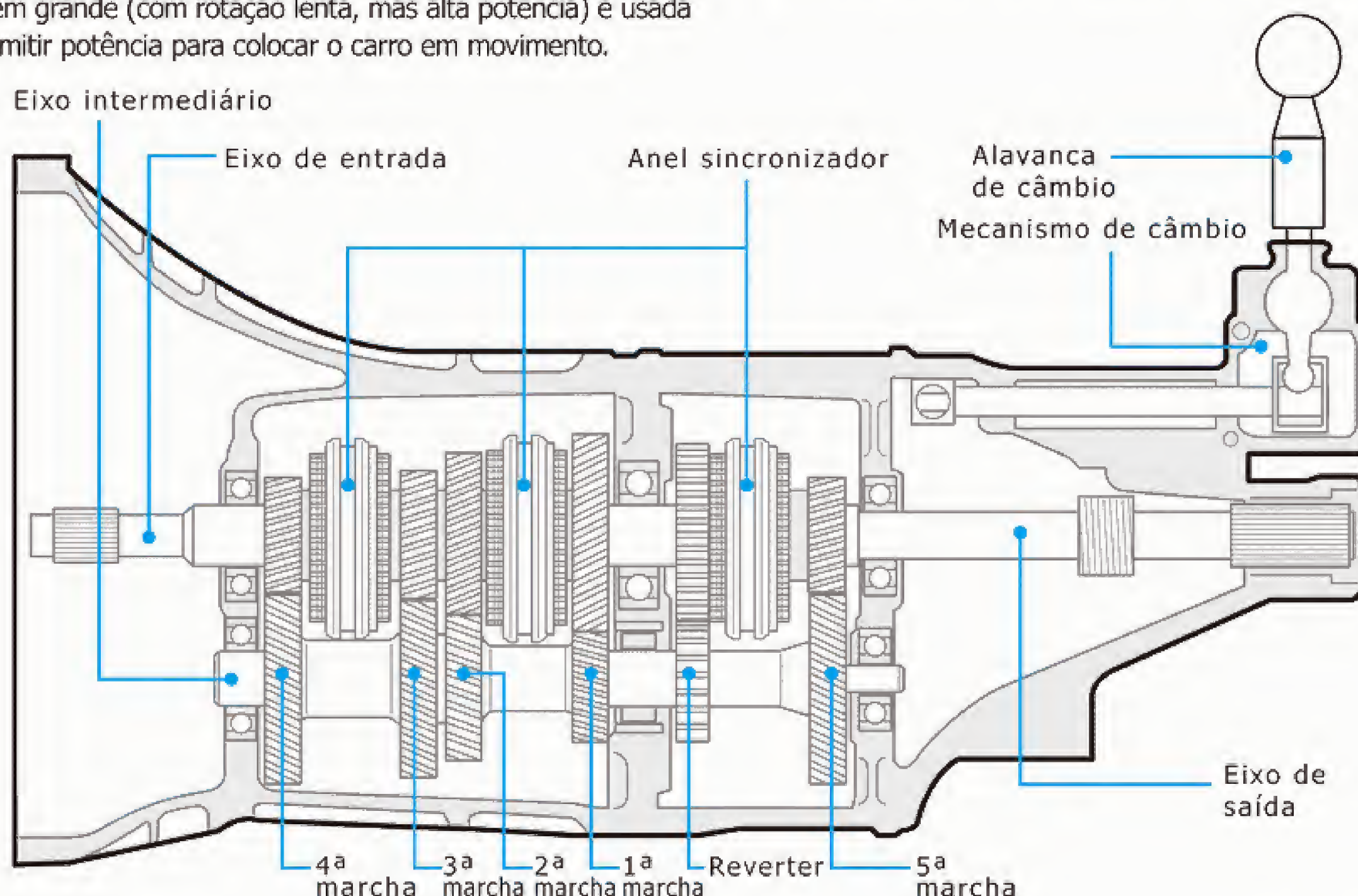
Um motor gira cerca de centenas e milhares de vezes por minuto. Isso seria muito rápido para girar as rodas diretamente, sendo assim um mecanismo intermediário é necessário. É aí que entra a transmissão. A transmissão usa diferentes engrenagens para transmitir a quantidade adequada de energia e velocidade para as rodas em qualquer situação.

Vamos ver como funcionam as engrenagens. Se uma engrenagem pequena está propulsando uma engrenagem maior, a engrenagem maior girará lentamente, mas seu torque será aumentado. Por sua vez, se uma engrenagem grande estiver propulsando uma engrenagem menor, a engrenagem menor girará mais rápido, mas com menor torque.

A transmissão pode usar esses princípios para encaixar a engrenagem correta na situação adequada. Um carro precisa de mais potência ao acelerar quando estacionado, já quando mantém uma velocidade estável precisa somente de uma pequena quantidade de potência. Assim, ao acelerar do zero, uma engrenagem grande (com rotação lenta, mas alta potência) é usada para transmitir potência para colocar o carro em movimento.

Uma engrenagem maior criará muito torque, mas girará mais lentamente. Isso significa que em primeira marcha, mesmo acelerando ao limite, somente teremos velocidades de algumas dezenas de quilômetros por hora. É por essa razão que várias marchas são usadas, ficando gradualmente menores à medida que o piloto troca de marcha, e produzindo mais velocidade e menos torque. A capacidade de mover-se livremente entre essas marchas permite que o piloto use a marcha certa para cada situação.

Em um carro real, além das marchas da transmissão conectadas diretamente ao motor, a relação geral de marchas é determinada pela combinação com outra "última marcha" que fica entre a transmissão e as rodas de acionamento. A relação de marchas pode afetar significativamente as características de dirigibilidade de um carro e, especialmente em corridas de circuito, a seleção das marchas adequadas para a pista será um ponto importante para melhorar seu tempo de volta.



[Diagrama estrutural para a transmissão manual]

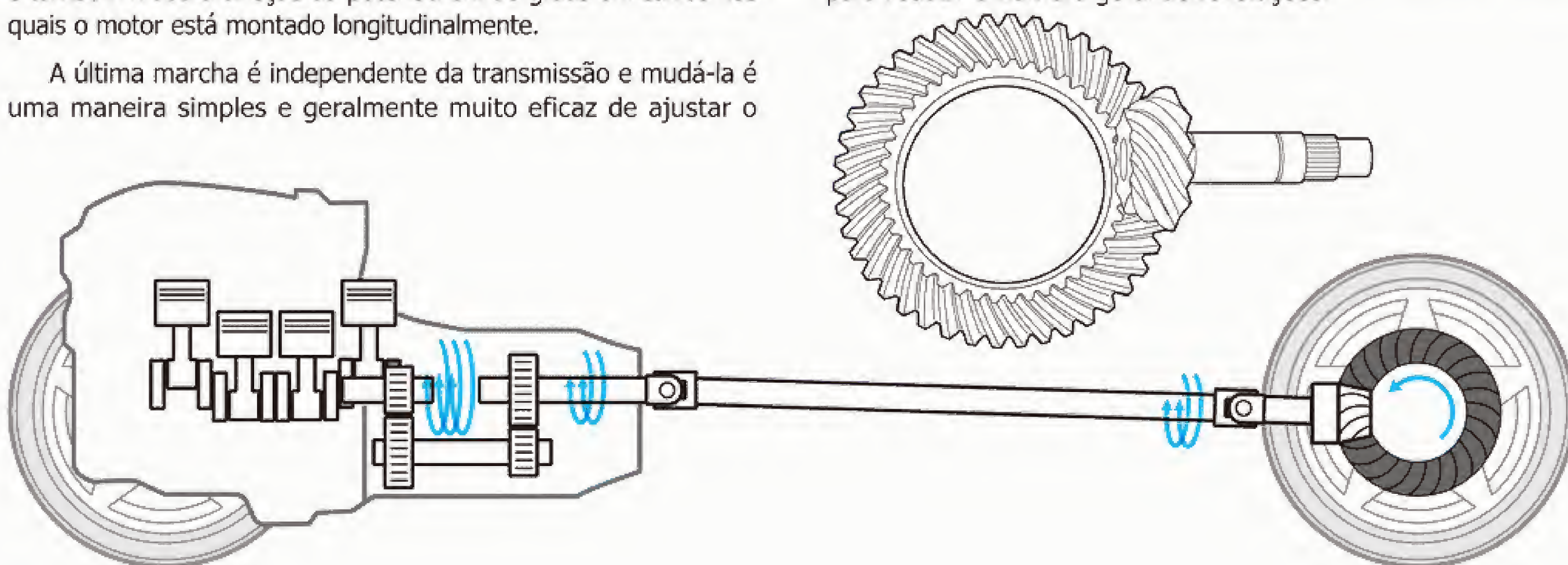
Aproveitando eficientemente a potência de acionamento

A última marcha

A marcha que media a transmissão final de potência do motor para as rodas de acionamento é conhecida como “última marcha”. Ela é a última etapa na cadeia que diminui o número de revoluções do motor para uma velocidade adequada para alimentar as rodas, e também muda a direção da potência em 90 graus em carros nos quais o motor está montado longitudinalmente.

A última marcha é independente da transmissão e mudá-la é uma maneira simples e geralmente muito eficaz de ajustar o

comportamento do carro. Em esportivos, a relação da marcha da última marcha geralmente é grande, com o objetivo de melhorar o desempenho de aceleração, mas se o foco é a economia de combustível, uma relação menor pode ser usada para reduzir o número geral de revoluções.



Tipos de transmissões de dois pedais

AT

► Transmissão automática

Uma transmissão comum que usa um conversor de torque (um tipo de acoplamento de fluido) para mudar automaticamente de marcha de acordo com a velocidade e RPM do motor. O sistema usa engrenagens planetárias controladas por pressão hidráulica. Tem a vantagem de apresentar uma transição suave entre as marchas, mas o sistema hidráulico pode causar desvios e perdas, o que pode levar a uma baixa economia de combustível.

CVT

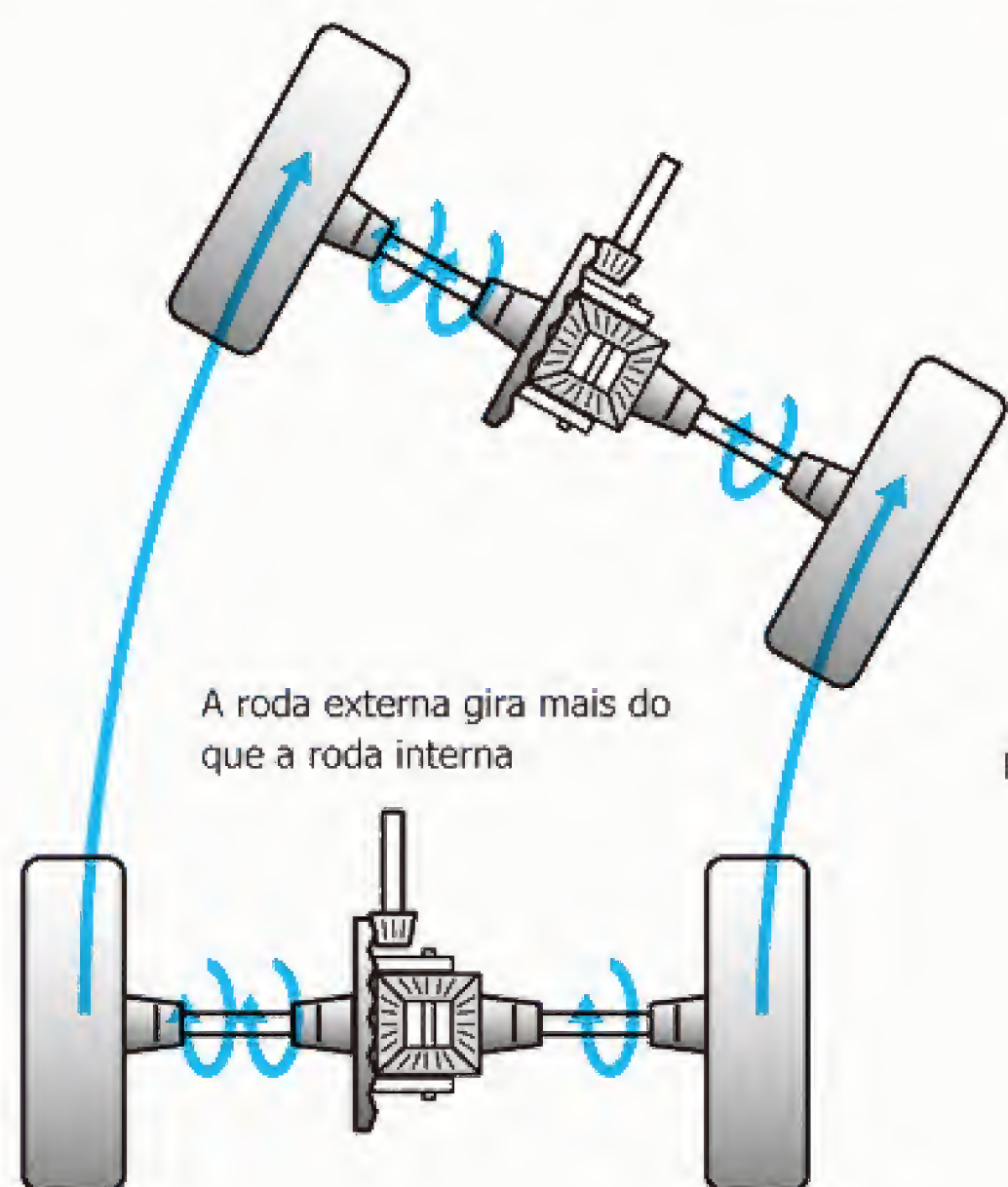
► Transmissão variável contínua

Uma transmissão variável contínua não troca entre as marchas uma por uma, como uma transmissão normal. Em vez disso, ela usa duas polias ou discos conectados a duas polias ou discos para trocar perfeita e continuamente varia a relação de marchas. É extremamente suave, não produzindo choques das trocas, e permite que o motor funcione com máxima eficiência sob praticamente qualquer condição.

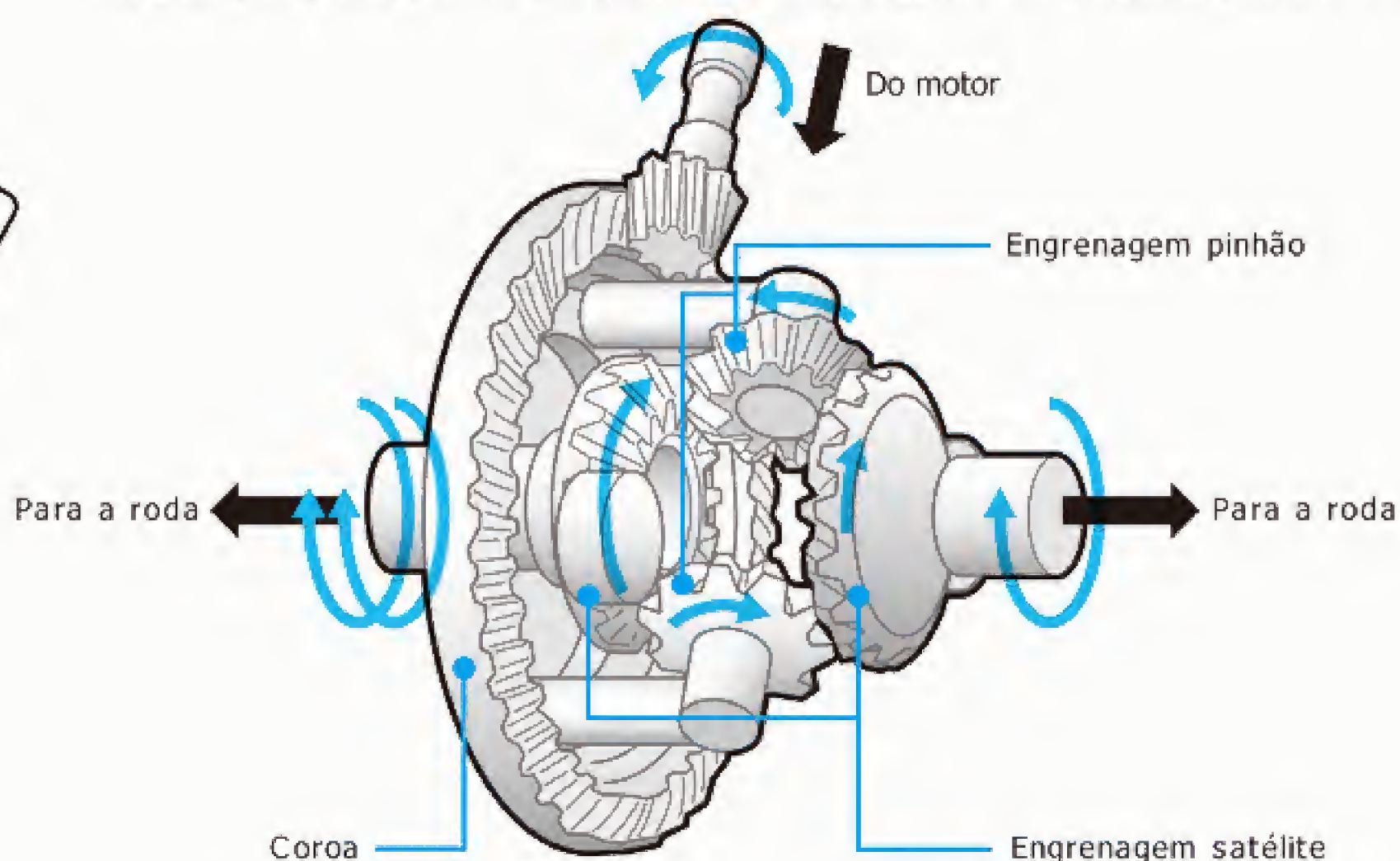
DCT

► Transmissão de dupla embreagem

Uma transmissão de dupla embreagem é basicamente um sistema no qual as operações de uma transmissão manual foram automatizadas pelo uso de duas embreagens. As marchas pares e ímpares são separadas em duas embreagens e, trocando-as entre elas com a embreagem, mostra um desempenho de troca que ultrapassa o das transmissões manuais. Na AT, o limite de rotação da marcha planetária coloca uma restrição no RPM máximo do motor, mas a DCT é compatível com motores de alto RPM. Este é um sistema de transmissão que continuará a crescer daqui por diante, sendo adequado tanto para carros esportivos quanto para carros ecológicos.



A engrenagem pinhão permite que ocorra a diferença de giro entre as rodas esquerda e direita



Diferencial

O diferencial é absolutamente essencial em veículos com rodas de acionamento no lado esquerdo e direito. Se tivéssemos que dirigir apenas em linha reta, não seria preciso ter diferenciais, mas assim que um carro entra em uma curva, a necessidade de um diferencial fica evidente.

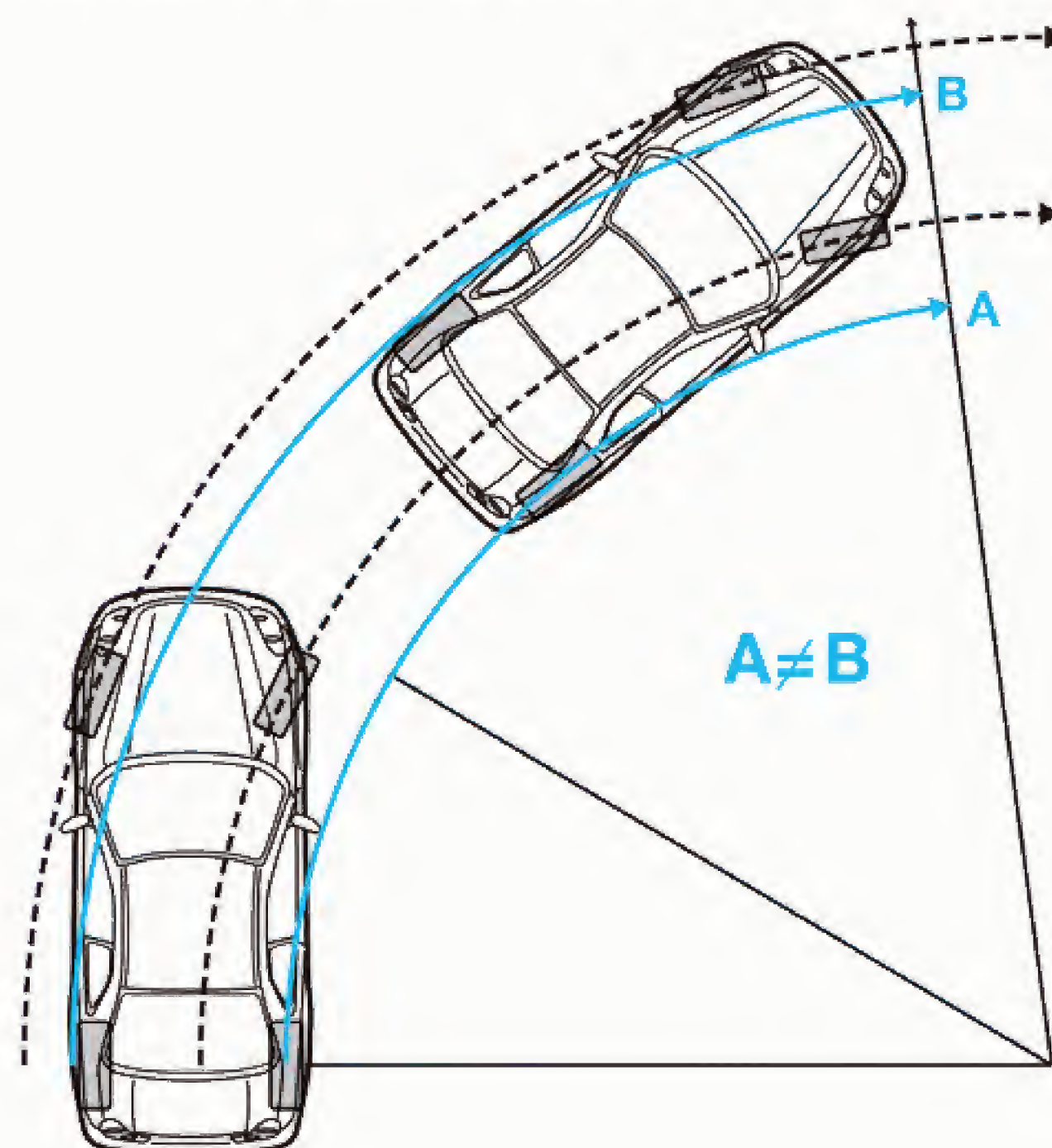
Ao fazer curvas, as rodas na parte externa da curva precisam andar mais do que as rodas na parte interna. Se não for possível fazer com que as rodas internas e externas andem em velocidades diferentes quando isso acontecer, o movimento da roda de dentro ficará resistir e deslizará, e o carro terá dificuldade para fazer a curva. O diferencial é um tipo de engrenagem, que é integrado com a última marcha e fica entre as rodas para resolver esse problema.

Observe o diagrama do canto superior direito. A potência do motor é transmitida da última marcha para a coroa. A coroa tem duas engrenagens pinhão fixadas nela, que giram as duas engrenagens satélite adjacentes que, por sua vez, transferem a potência para as rodas esquerda e direita.

Quando o carro se movimenta em linha reta, a rotação da última marcha opera a coroa, girando as engrenagens pinhão, transmitindo a potência de maneira igual para as engrenagens satélite, fazendo com que as rodas esquerda e direita girem na mesma velocidade. Aqui, tanto as rodas esquerdas quanto direitas giram na mesma velocidade.

No entanto, ao fazer uma curva, a roda parte interna da curva gera resistência, que é transmitida para a engrenagem satélite correspondente. Quando isso acontece, as engrenagens pinhão que estavam girando uniformemente com as engrenagens satélite, sem girar, começam a girar para permitir que ocorra uma diferença na velocidade de rotação entre as rodas da esquerda e da direita.

O resultado disso é que um pouco menos de potência é passada para a roda que está encontrando resistência na parte interna da curva, e um pouco mais de resistência vai para a roda que anda pela parte externa, sendo que essa roda girará na velocidade correta para fazer a curva.



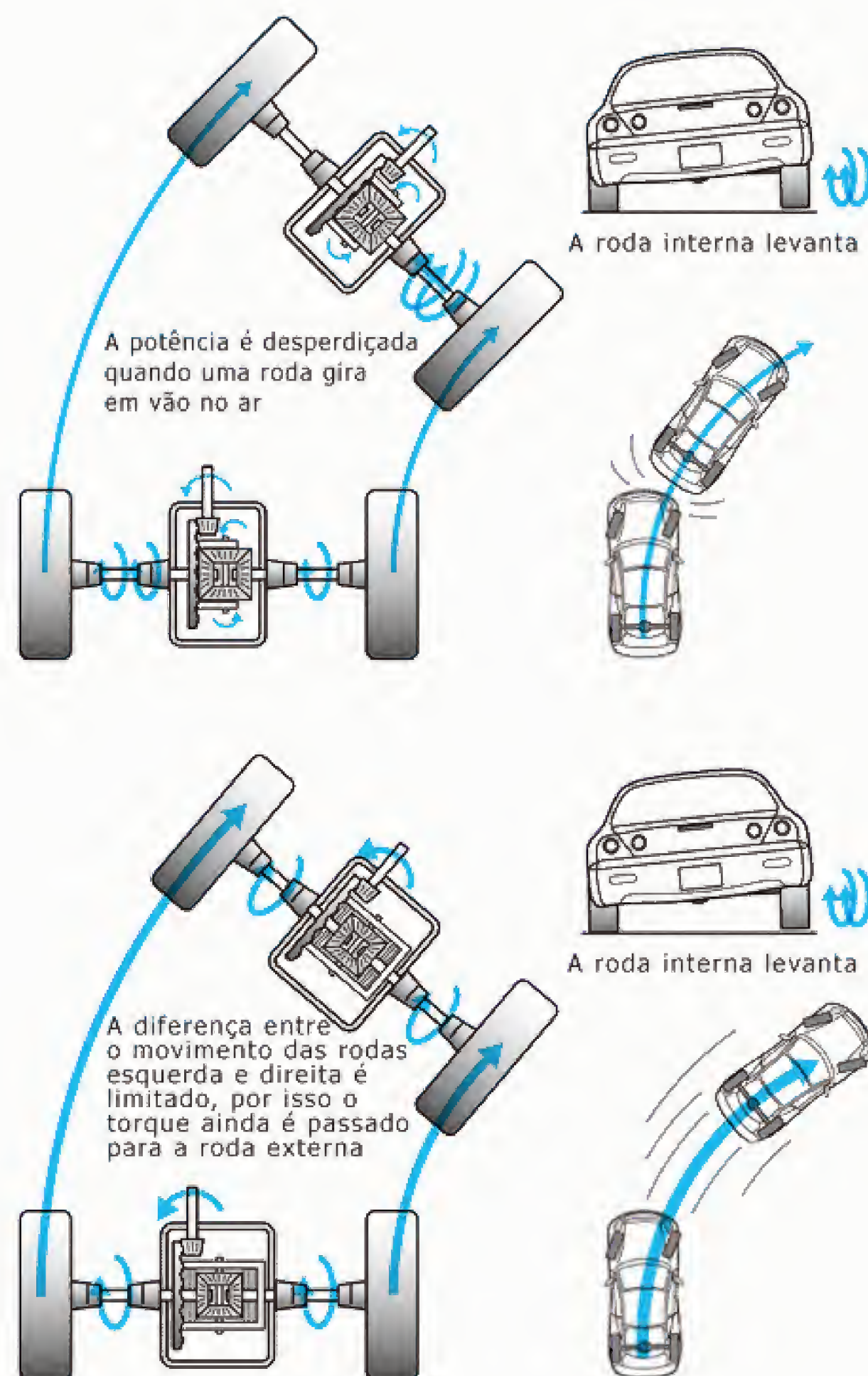
Fazer curvas com suavidade e controle

Diferencial de deslizamento limitado

Em curvas, o diferencial tem uma desvantagem. Se uma roda de acionamento perder o contato com a superfície da estrada, a outra roda de acionamento não receberá potência de acionamento, e a roda que não está em contato com o solo acabará girando descontroladamente. Isso ocorre porque o diferencial tenta corrigir a diferença na rotação transferindo toda a força para essa roda. Esse fenômeno também pode ser visto em carros atolados no gelo ou na neve, onde a perda total de tração em uma só roda faz com que somente a roda gire inutilmente.

Um diferencial de deslizamento limitado (LSD) é um sistema projetado para suprimir a função de um diferencial, quando não há mais certa quantidade de diferença na velocidade de rotação entre as rodas de acionamento direitas e esquerdas. A ideia de um LSD é garantir que a quantidade correta de potência seja distribuída entre as rodas, por meio de um dispositivo que limita a diferença na velocidade das curvas entre as duas engrenagens satélite. Existem várias maneiras de se obter isso, incluindo sistemas de mais de uma embreagem, sistemas controlados eletricamente e sistemas que trabalham com atrito em fluidos viscosos.

Nos carros esportivos, o uso do LSD não é tão usado para escapar da lama ou de buracos na neve; é mais usado para garantir a eficiência da potência de acionamento e a melhoria de dirigibilidade.



Tipos de LSD

Tipo sensível ao torque

É um sistema que aplica engrenagens especiais. Quando a diferença de torque aumenta entre as rodas esquerda e direita, a resistência aumenta entre essas engrenagens, limitando a quantidade de diferença que pode ocorrer. Como esses sistemas podem definir limites rígidos para a diferença de velocidade entre as rodas, eles são eficientes para condições de pilotagem mais exigentes, como em circuitos, sendo que o tempo de resposta também é bastante curto. Existem vários tipos de LSD sensíveis ao torque, como o de várias embreagens, Torsen e helicoidal.

Tipo sensível à velocidade

Esses sistemas geralmente restringem o diferencial usando óleo de silicone altamente viscoso em vez de engrenagens. O sistema mais comum desse tipo é o viscoso, que usa a resistência de cisalhamento do óleo, mas também existem os sistemas do tipo "orifício", que usam a resistência do óleo quando ele passa por pequenos orifícios. Esses sistemas não podem restringir o movimento tão bem quanto os tipos sensíveis ao torque, e sua resposta não é tão boa, mas eles são mais fáceis de controlar em superfícies de baixa tração.

Tipo de controle ativo

São sistemas controlados eletronicamente que usam computadores para coletar e comparar informações obtidas por sensores e controlar a diferença de rotação das rodas. Vários carros de corrida de competição, principalmente carros de rali na WRC, usam esses sistemas, sendo que alguns veículos comerciais também já adotaram os sistemas. A limitação da operação do diferencial é controlada pela pressão da placa de atrito, com o uso de uma embreagem hidráulica ou eletromagnética.

A estrutura que comporta todo o resto

O formato da carroceria e a construção de um carro podem afetar seu desempenho tanto quanto o motor e a transmissão. Essa é a base que determina o controle.

Requisitos de desempenho da carroceria

Juntamente com o motor e a suspensão, a carroceria compõe a estrutura básica que dita como um carro se comportará. As qualidades mais desejáveis na carroceria de um carro são a rigidez, a resistência e, após essas duas terem sido estabelecidas, uma estrutura leve. A melhor maneira de pensar sobre a rigidez e a resistência é em termos de “resiliência contra deformação” e “resiliência contra quebra”, respectivamente.

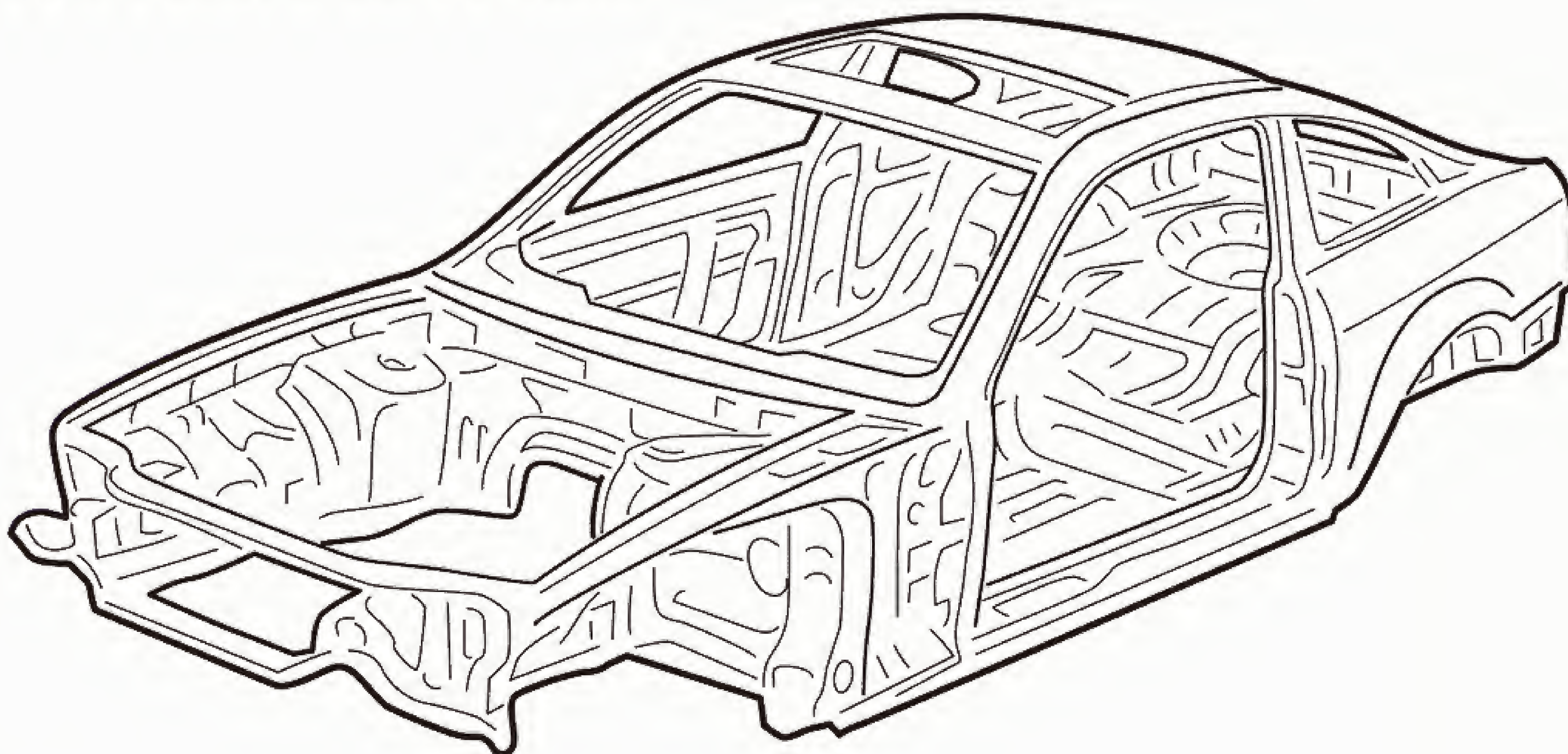
A rigidez é uma influência especialmente forte na performance de direção. Por exemplo, quando a carga aumenta ou oscila enquanto se está dirigindo em uma estrada acidentada ou em curvas, uma carroceria rígida não entorta nem muda de forma.

Mesmo se a forma da carroceria mudar, ela deveria voltar para a forma original imediatamente, para que a suspensão opere normalmente e os pneus continuem em contato com a estrada. Quanto mais rígida for a carroceria de um carro, mais fácil será para transmitir potência para a superfície da estrada, mais previsível será o comportamento do carro, e mais fácil será dirigi-lo. Por outro lado, se a carroceria se deforma facilmente de forma, será mais difícil de transferir a potência para a superfície da estrada, e isso afetará a manobrabilidade.

As forças que agem na carroceria de um carro não são constantes. Algumas têm efeito lento e gradual, enquanto outras são de impacto súbito e violento. Normalmente, os materiais de divulgação dos carros descrevem a boa rigidez ao fazer curvas ou sobre torção, mas geralmente isso significa apenas que essas forças são aplicadas lentamente. Uma carroceria verdadeiramente rígida é capaz de suportar o impacto súbito das forças que possam vir a agir sobre ela.

A resistência pode ser vista como a força de um carro. Se um carro com pouca resistência sofrer impacto, ele sofrerá maior dano. No entanto, não basta minimizar o dano, um carro com resistência alta deve ser construído de forma que o choque de um impacto não seja transferido para os passageiros.

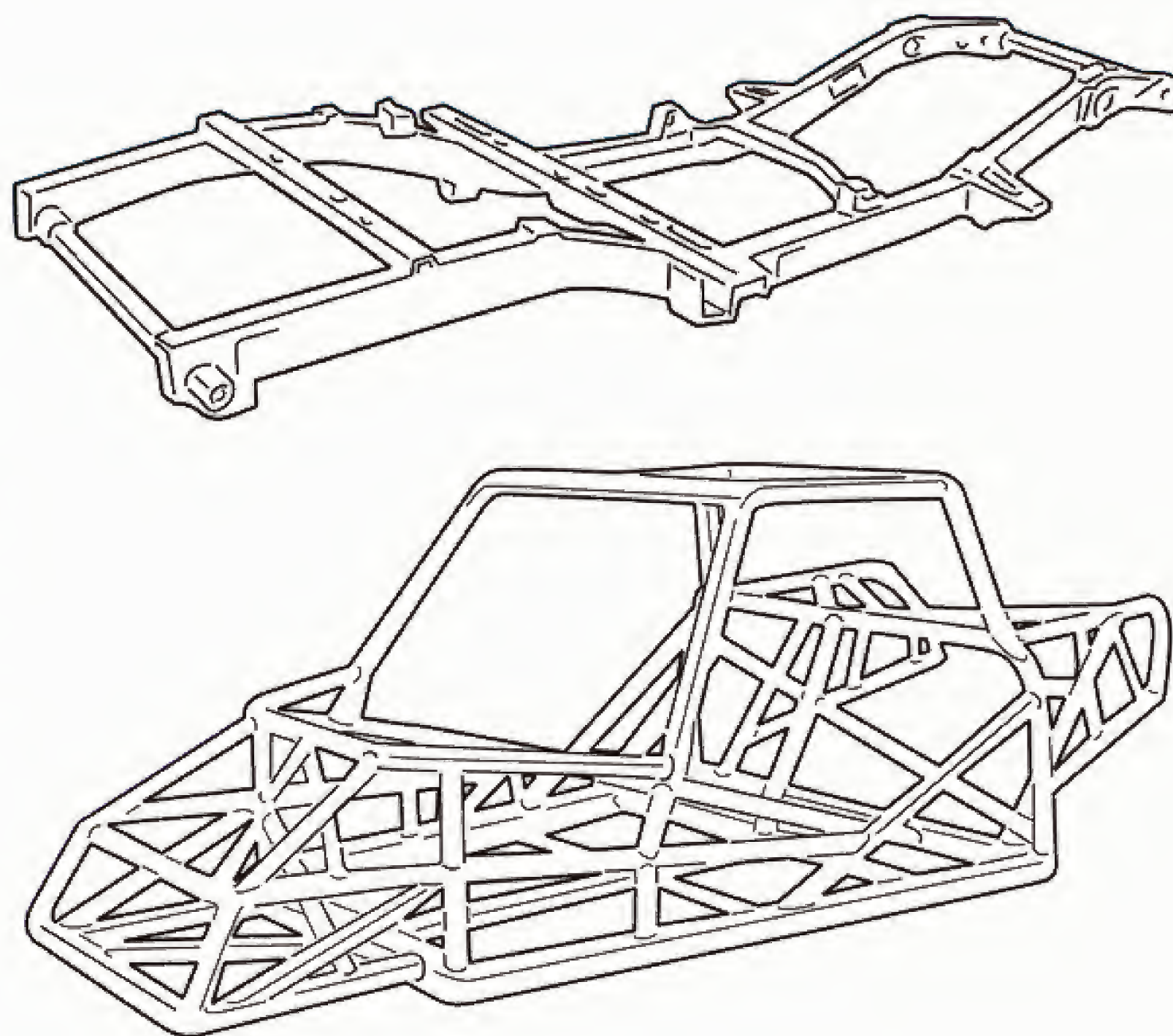
Em condições ideais, a carroceria de um carro deve ter um bom equilíbrio entre rigidez e resistência. A maneira mais fácil de aumentar essas qualidades é com reforço, mas um aumento no peso se torna inevitável. Esse é o principal motivo pelo qual os conversíveis sem os tetos ficam mais pesados que carros fechados, pois seus pisos são reforçados.



Resistência e rigidez

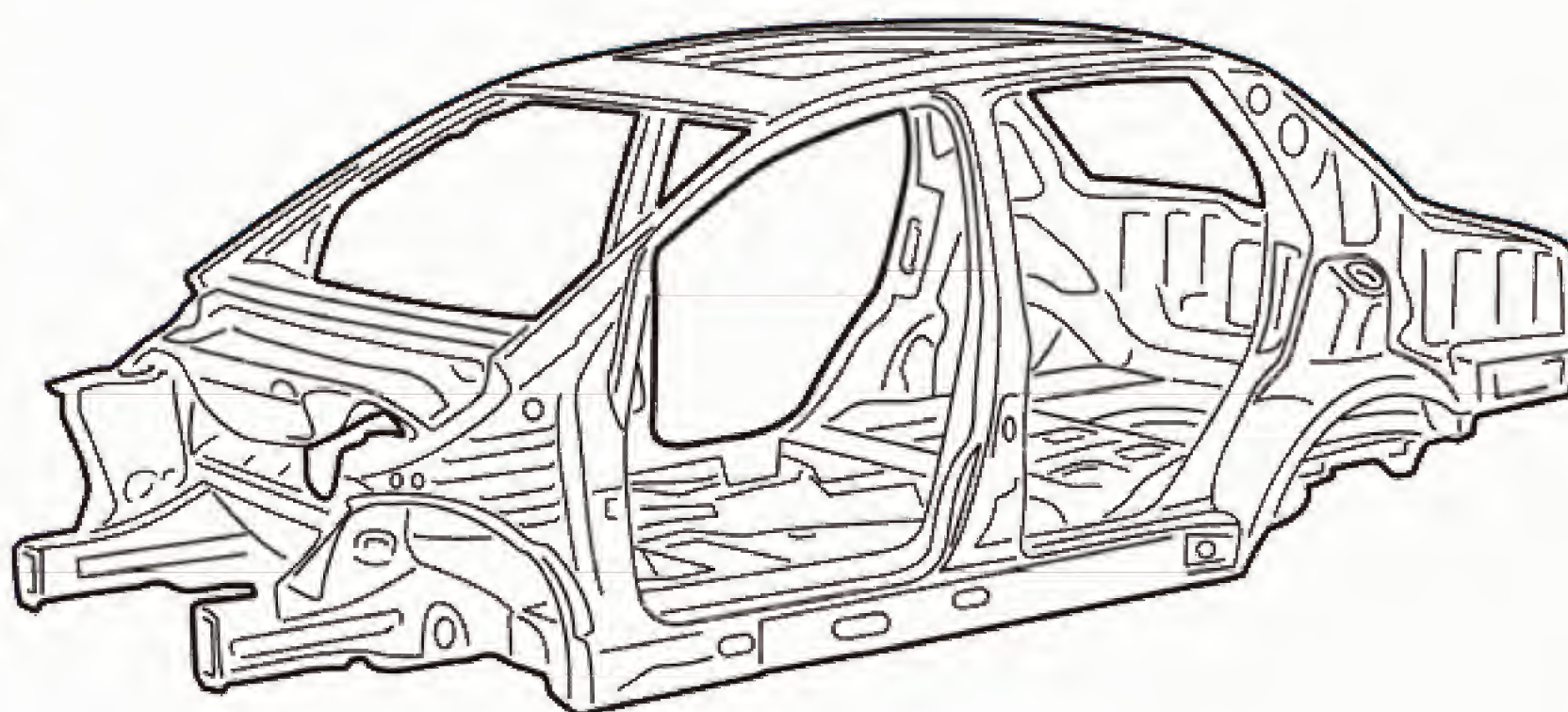
Carroceria no chassi

Em tipos de chassi separado ou de carroceria no chassi, o motor, a transmissão, a suspensão etc., são fixados em um chassi antes de a carroceria, fabricada separadamente, ser acoplada. Há vários tipos de estrutura de chassi, como escada, espinha dorsal, perímetro e plataforma, mas os chassis de escada são os mais baratos e mais fáceis de reforçar, e, por isso, os mais comuns, especialmente em veículos fora de estrada. Outro tipo de estrutura de carroceria no chassi pode ser criado soldando-se vários tubos pequenos até formar uma estrutura na qual os painéis podem ser acoplados. Esse tipo é conhecido como chassi tubular e não pode ser desmontado depois de construído. No entanto, é mais fácil ter uma rigidez alta com uma carroceria leve usando esse tipo de chassi, e, como a modificação e os reparos são simples, essa construção geralmente é adotada em carros de corrida ou carros esportivos produzidos em menor quantidade.



Chassi monobloco

Esse é o tipo de carroceria mais comum dos veículos modernos, na qual o chassi e a carroceria são combinados. A resistência da carroceria é criada por meio de todo o conjunto de peças, como os painéis da carroceria componente, tendo peso leve e rigidez. Outra vantagem é que a altura do piso pode ser diminuída, e ela oferece uma excelente absorção de energia em caso de impacto. Inicialmente, o fato de o motor e a suspensão serem diretamente acoplados à carroceria causava problemas relacionados à qualidade de viagem e à produção de ruído, mas os avanços na tecnologia de suspensão e na montagem do motor possibilitaram a superação desses problemas.



Trocadores de calor reduzem a velocidade

Os freios de um carro transformam a energia de propulsão em energia térmica para desacelerar. Esses componentes essenciais não devem ter somente potência de frenagem, mas também devem poder dissipar o calor eficientemente.

Construção e princípios

Os freios de um carro transformam a energia cinética em energia térmica para desacelerar. Os freios garantem que o carro não se move enquanto está estacionado.

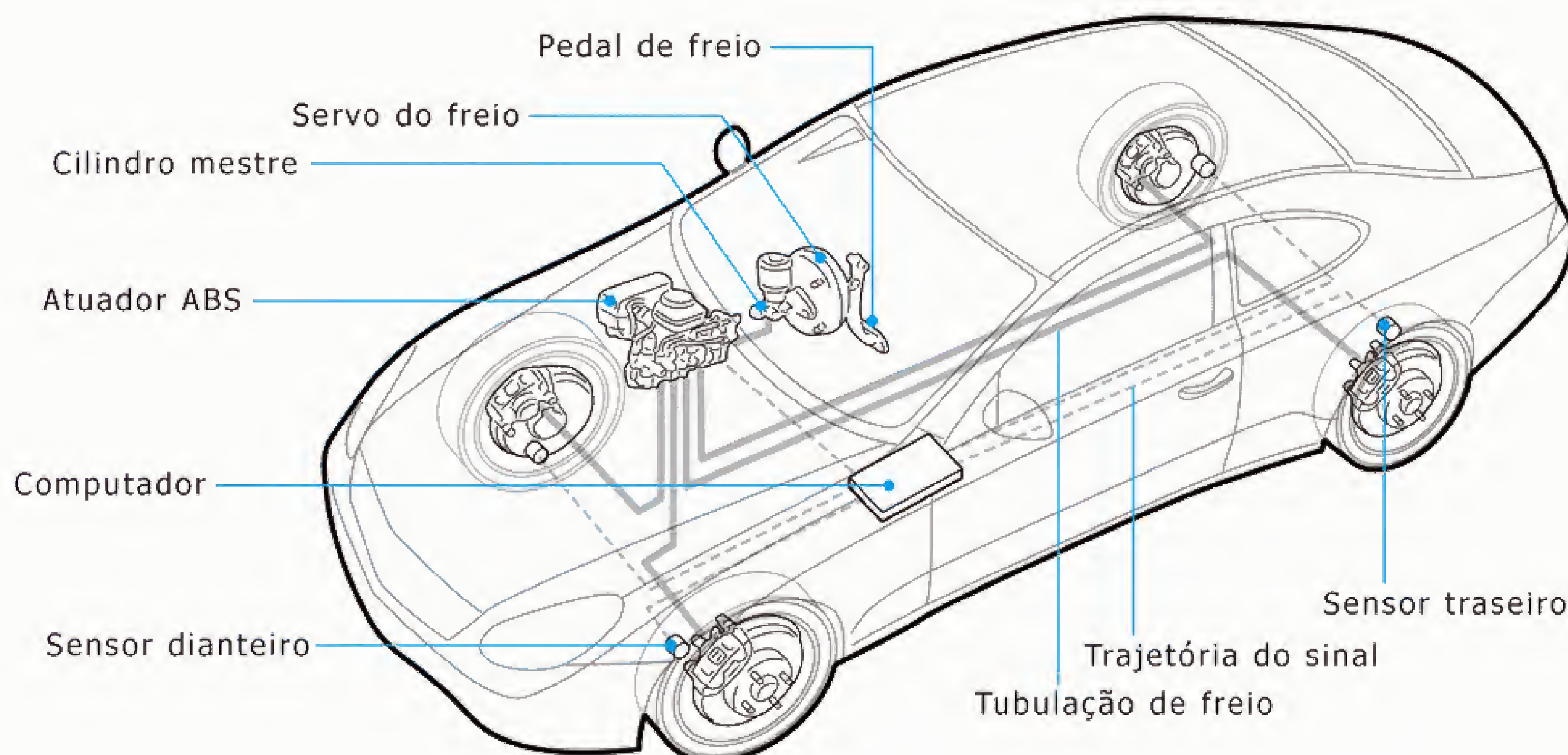
Os componentes básicos de um sistema de freio incluem um dispositivo de controle, que leva a informação do piloto; um sistema hidráulico, que transmite a operação de controle, e o próprio dispositivo de frenagem. Recentemente, esse processo foi aprimorado, com a introdução de mecanismos de controle que multiplicam as informações do piloto para aumentar a potência de frenagem e a introdução de sistemas ABS, que impedem o travamento das rodas.

O pedal de freio e os freios estão conectados por meio de uma tubulação hidráulica. Como o princípio de Pascal se aplica à tubulação hidráulica, o pedal de freio se conecta a um cilindro grande. A pressão acumulada nesse cilindro é reforçada e enviada à pastilha de freio ou sapata de freio. As pastilhas e sapatas são feitas de materiais de alto atrito, e pressionando-as contra o disco de freio ou tambor de freio, a energia cinética é convertida em energia térmica, diminuindo a velocidade do carro.

O fluido usado na linha hidráulica não é óleo: é um fluido especializado feito para freios. Os fluidos de freio não devem ferver quando expostos ao calor dos freios, sendo que existem vários tipos de fluidos de freio com várias temperaturas de ebulição disponíveis.

Com a popularização da condução em autoestradas, houve uma mudança nos freios dianteiros da maioria dos carros de rua, que passaram a usar freios a disco em vez de freios a tambor. Em um sistema de freio a disco, a força de frenagem é aplicada nos dois lados do disco de freio por meio de pastilhas de freio sustentadas pela pinça.

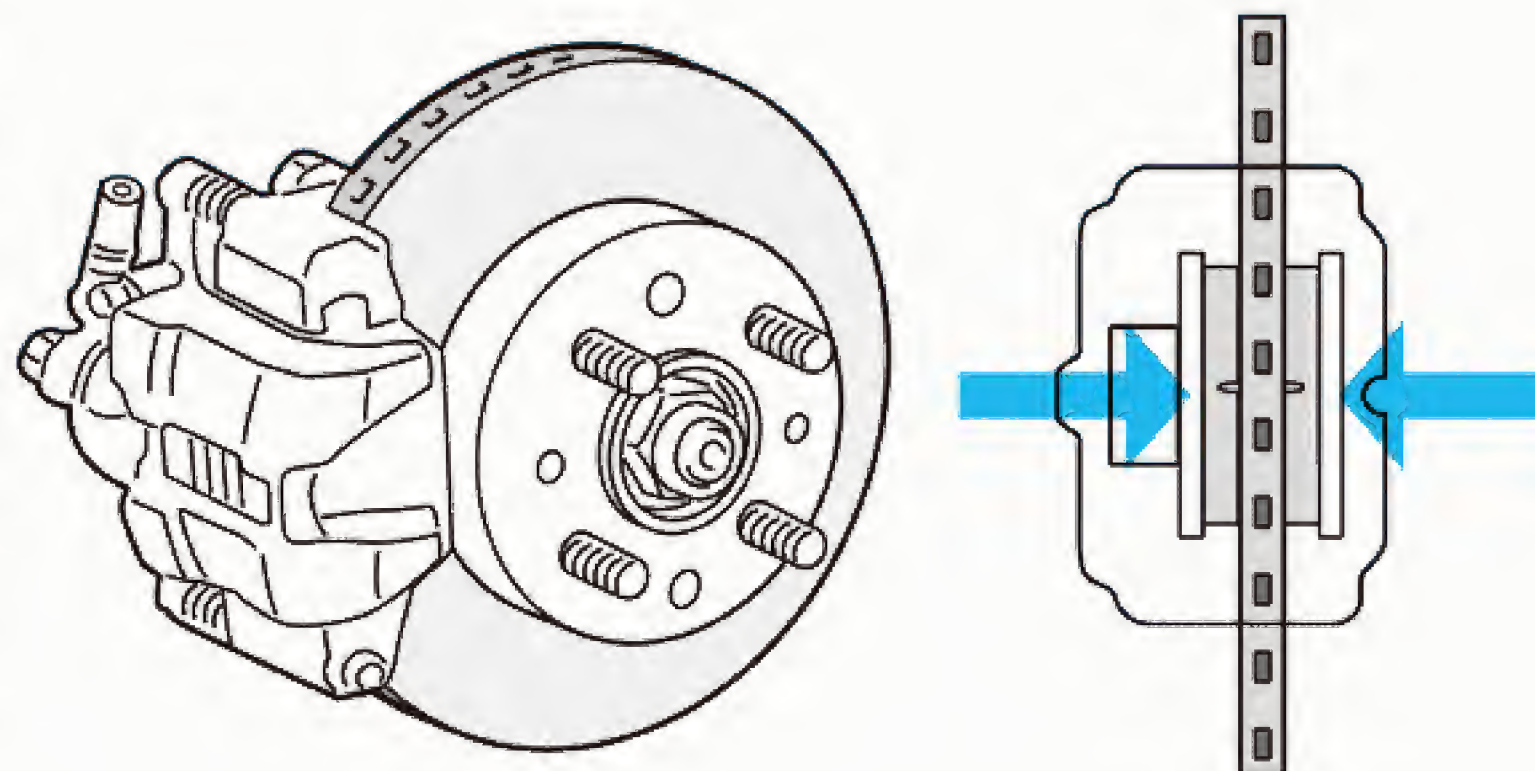
Assim como outras tecnologias automotivas, os freios a disco também avançaram, e discos de freio ventilados com propriedades de resfriamento aprimoradas foram desenvolvidos. A tecnologia de pinça também foi aprimorada, com a substituição das pinças flutuantes por grandes pinças com pistões opostos de alto desempenho.



O que faz um carro parar?

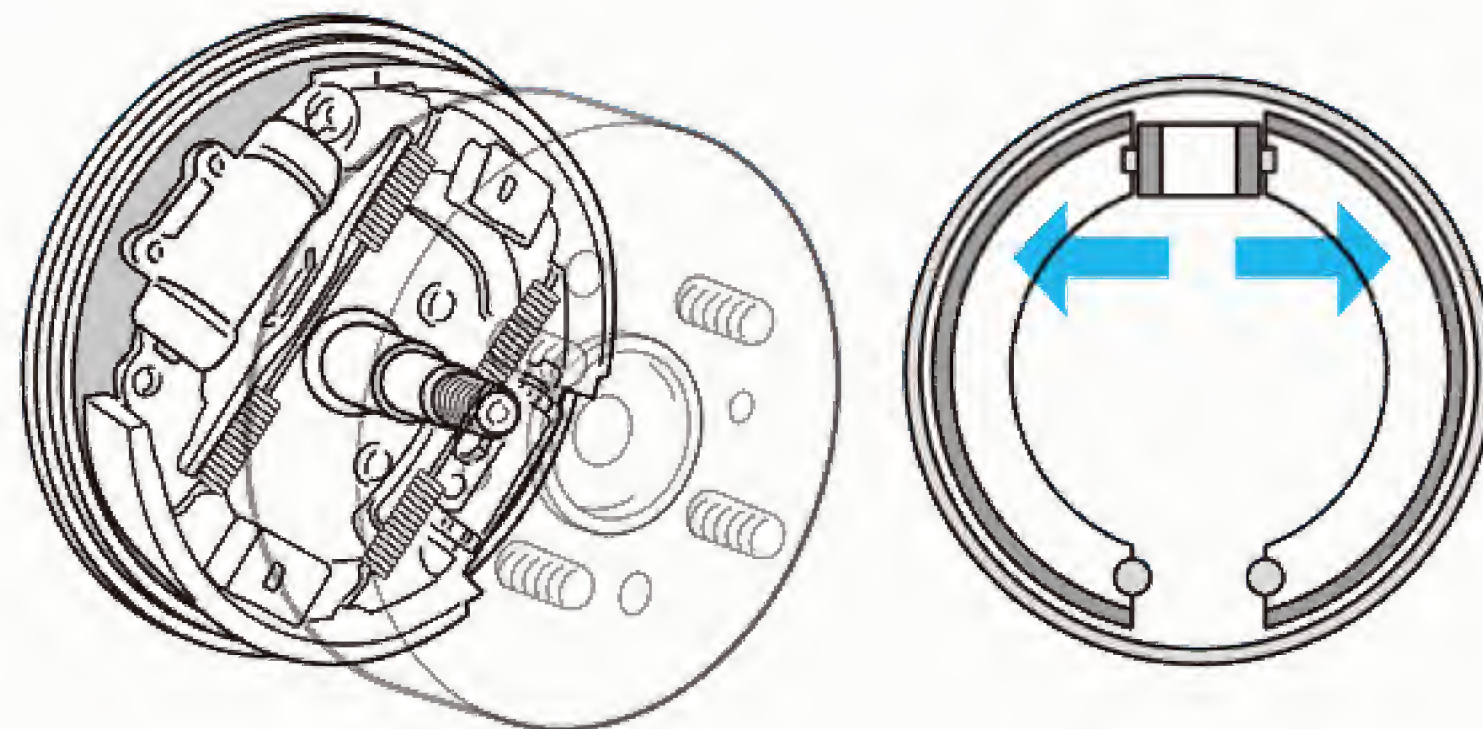
Freios a disco

O atrito aplicado aos dois lados de um disco de metal que gira com as rodas. Sua principal vantagem é que, como a maioria dos componentes, incluindo o disco, está exposta a intempéries, a ventilação e a dispersão de calor são excelentes, tornando-os menos suscetíveis ao superaquecimento. Outro benefício dos freios a disco é que, se eles ficarem molhados, a água se dispersará naturalmente enquanto a roda gira, e não haverá perda significativa de atrito. É mais fácil realizar o controle sensível dos freios por meio do pedal de freio com freios a disco, mas os freios não multiplicam sua própria potência de frenagem como em um freio a tambor, e a capacidade de fixação quando estacionados é menor do que a do freio a tambor.



Freios a tambor

A frenagem é realizada com a aplicação de sapatas de freio contra a parte interna de um tambor cilíndrico que gira com as rodas. A dispersão de calor é insatisfatória, e ocorre superaquecimento muito mais facilmente que em freios a disco. Além disso, se entrar água no tambor, leva tempo para recuperar o atrito. Porém, ao frear, a rotação do tambor arrasta automaticamente a sapata contra a superfície de atrito, fazendo com que as sapatas fixem-se mais, produzindo força de frenagem adicional. Em carros de passageiros, é normal que freios a tambor sejam instalados nas rodas traseiras, que sofrem menos carga de frenagem. Em veículos maiores, os freios a tambor geralmente são instalados dentro dos freios a disco nas rodas traseiras para agirem como um freio de estacionamento.



Problemas de freios causados pelo calor excessivo

Desgaste

O desgaste é uma redução na força de frenagem causada pelo excesso de uso dos freios. As pastilhas ou o revestimento superaquecem e liberam gás, que age como um tipo de lubrificante e reduz o atrito.

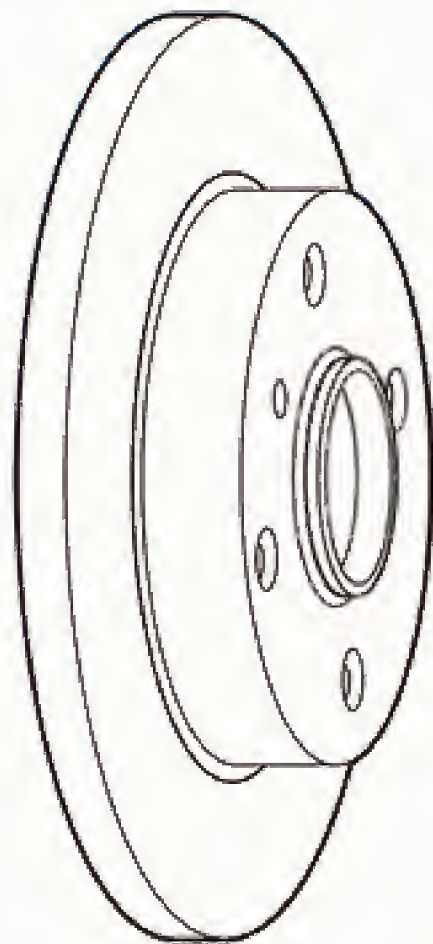
Bloqueio de vapor

Esta é uma condição na qual o fluido de freio absorveu o calor das pastilhas ou do revestimento do freio superaquecido e ferveu, criando bolhas de ar na linha de freio. Quando o pedal de freio é empurrado, a pressão não é passada eficientemente através do fluido e, na pior das situações, os freios deixarão de funcionar completamente.

Tipos de disco de freio

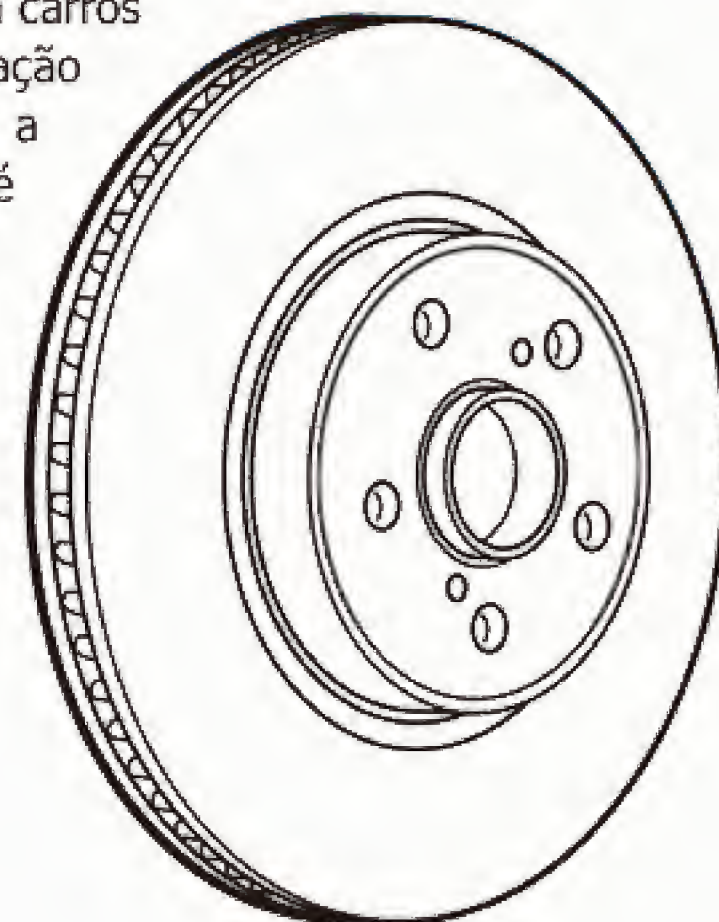
Discos sólidos

Este é o tipo mais básico, composto de um simples disco de metal. A dispersão de calor é inferior à dos discos ventilados, mas baixos custos de fabricação significam que discos sólidos são geralmente usados nos freios dianteiros de carros leves, e também em freios traseiros de veículos com tração nas quatro rodas, nos quais as cargas de frenagem são relativamente pequenas. Todos os discos, incluindo os discos ventilados, precisam ser resistentes em relação ao calor do atrito e eficientes na dispersão de calor, motivo pelo qual a maioria é feita de ferro fundido.



Discos ventilados

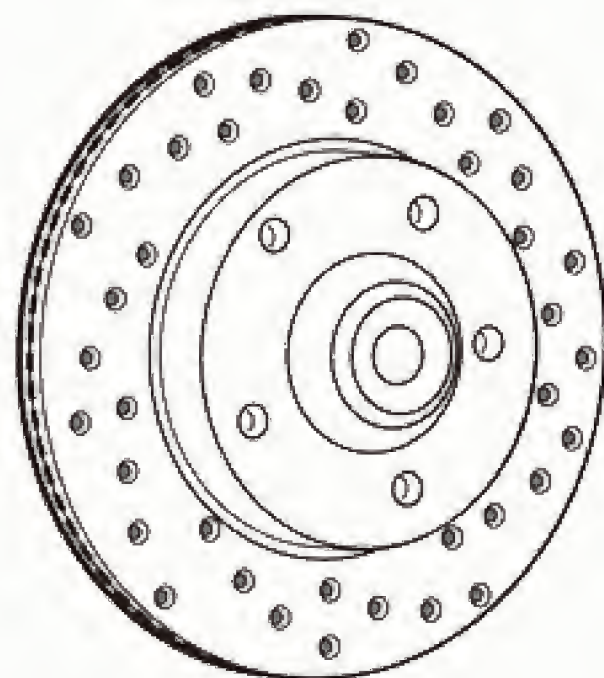
Dois discos são empilhados, com orifícios entre eles para fornecer ventilação. Estes eram inicialmente desenvolvidos para carros de corrida, mas também são comuns em carros de passageiros. Em comparação com discos sólidos, a temperatura na superfície é reduzida em torno de 30%, o que aumenta a resistência ao desgaste e estende a vida útil da pastilha de freio. A desvantagem é que sua espessura dupla os torna um pouco mais pesados.



Tipos de discos ventilados avançados

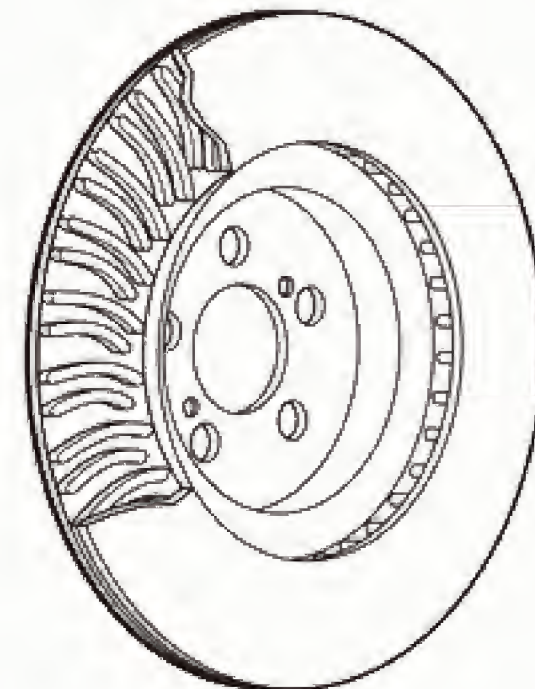
Discos com perfuração cruzada

Semelhante a um disco ventilado, mas com orifícios adicionais perfurados na superfície do disco para aumentar a dispersão de calor e o resfriamento. Estes são frequentemente usados em carros de corrida e carros esportivos de alto desempenho. Os orifícios também são eficazes na remoção de poeira criada ao frear. Outro tipo de disco chamado "disco ranhurado" tem canais usinados em sua superfície que permitem obter o mesmo efeito.



Discos de aletas espirais

Dois discos empilhados com aletas dissipadoras de calor dispostas em uma forma espiral entre elas. Essas aletas são projetadas com o uso de análise numérica do fluxo de ar no disco, para proporcionar máximo fluxo de ar através do disco. Com isso, o calor se dispersa de forma extremamente eficiente, à medida que as rodas giram. Esses discos são usados em carros esportivos de alto desempenho e sedans de alta potência mais pesados.

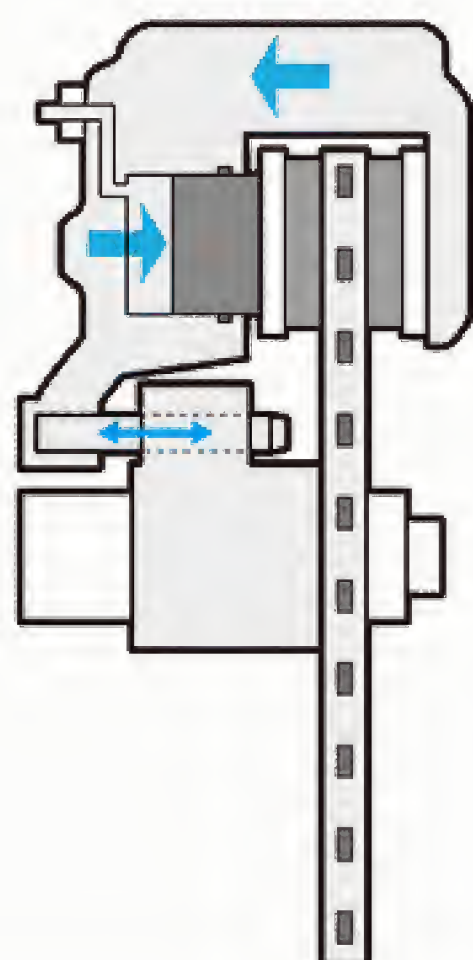


Discos e pinças

Tipos de pinça

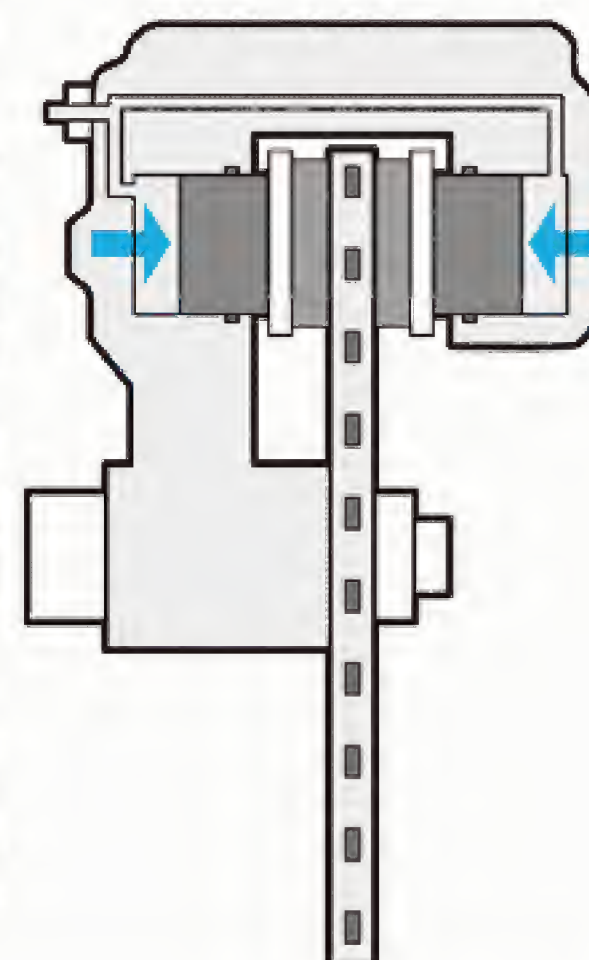
Flutuante

Uma pinça flutuante tem um pistão instalado em um lado, que empurra a pastilha de freio contra o disco quando o pedal de freio é pressionado. A força contrária pressiona a pastilha de freio em um lado contra o outro lado do disco. O contato das pastilhas com o disco é ajustado constantemente e não há atraso entre as ações das duas pastilhas, garantindo uma sensação de frenagem idêntica, sempre. A pinça em si é pequena e leve, podendo ainda fornecer potência de frenagem mesmo se o disco se deformar devido ao calor extremo. Embora elas comecem a perder eficiência em situações de corridas contínuas, não apresentam problemas para condução regular.



Pistão oposto

Esta é uma configuração na qual os pistões de freio estão localizados nos dois lados do disco, para pressionar as pastilhas de freio contra o disco nos dois lados. Como esta configuração torna as pinças maiores e mais pesadas, não há muitas opções senão usar pinças de alumínio para reduzir o peso que, por sua vez, dificulta manter a rigidez adequada para a pinça, a menos que seja projetado adequadamente. Isso é muito eficiente em corridas em circuito, mas, para utilizar todo seu potencial, os discos de freio também precisam ser flutuantes, caso contrário, com discos de freio normais o calor distorcerá o disco, colocando-o em um ângulo no qual as pastilhas de freio não consigam se engatar adequadamente na superfície do disco. Com a popularização de freios maiores, freios de vários pistões com pinças de 4 e 6 pistões e área de superfície da pastilha de freio mais ampla também foram aplicados a carros comerciais. Uma pinça de pistões opostos visivelmente grande projetando-se da parte posterior das rodas de liga é um forte indicativo do alto desempenho do carro.



Amortecedores para o controle do movimento da estrutura

A compressão e a extensão podem parecer um processo simples, mas sem um sistema de suspensão adequado, você não poderá dirigir um carro direito, muito menos controlá-lo adequadamente.

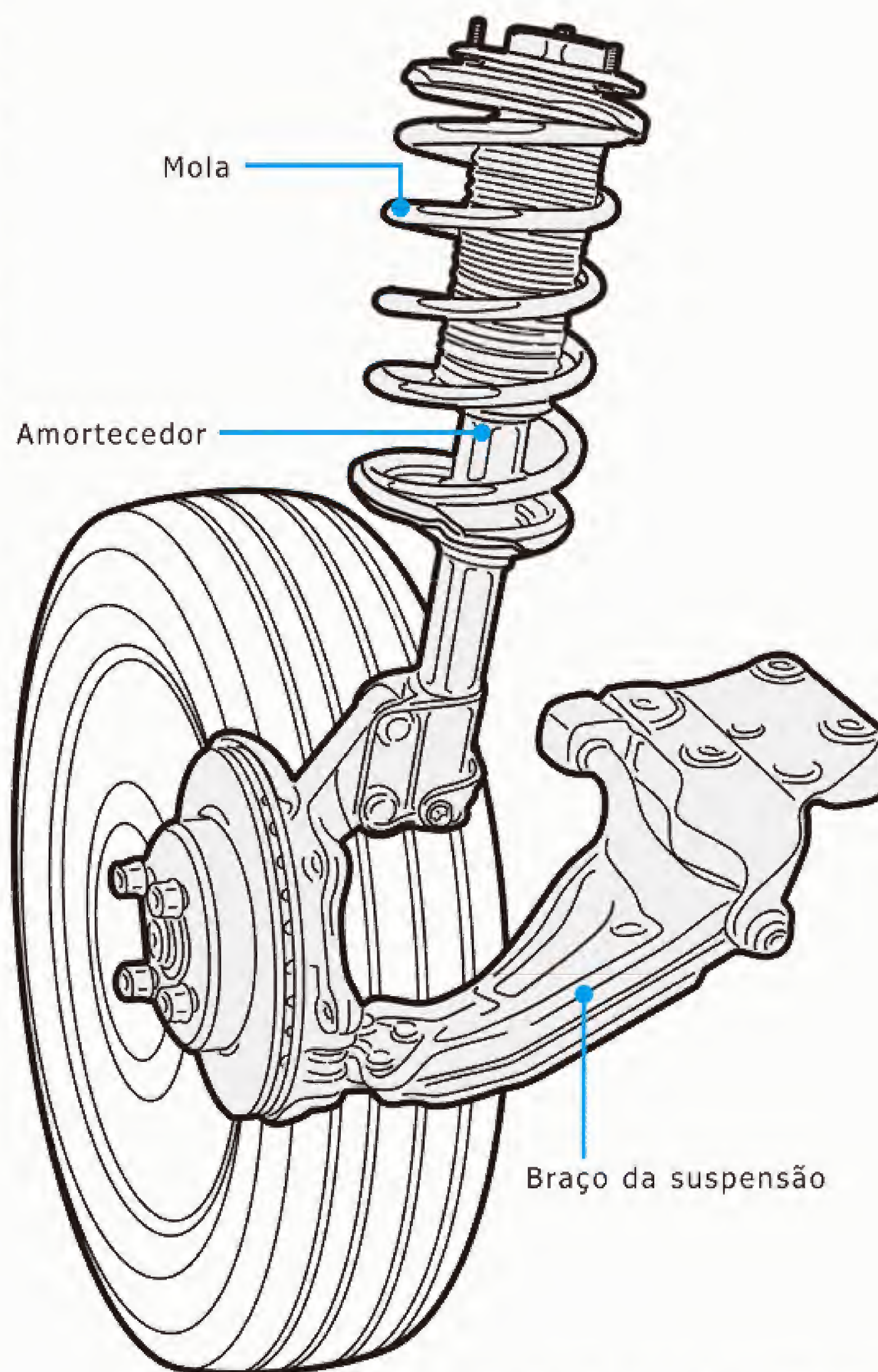
Construção e princípios

A suspensão é o mecanismo posicionado entre a carroceria e as rodas para absorver os choques que as rodas recebem quando sustentam a carroceria do carro. Ela também tem uma influência importante sobre a dirigibilidade e, dessa forma, é um mecanismo importante na construção de um carro.

A suspensão geralmente pode ser categorizada em sistemas de suspensão "dependente", nos quais o movimento de uma roda afeta a roda no lado contrário, ou suspensão "independente", na qual as rodas esquerda e direita se movem independentemente sem se afetarem. Exemplos de suspensão dependente incluem eixo rígido, conectado ou suspensão de eixo de torção, enquanto exemplos de suspensão independente incluem o tipo estabilizadora e a suspensão de duplo braço triangular.

A suspensão em si é composta por molas, amortecedores e ligações. As molas absorvem o choque da superfície da estrada, e os amortecedores suprimem a vibração das molas para fornecer conforto de viagem e estabilidade. As ligações restringem o movimento dos pneus, de forma que se mantenham em contato ideal com a superfície da estrada. O sistema de suspensão desempenha um papel importante, empurrando os pneus contra a superfície da estrada por meio das molas e regulando seu posicionamento.

A ilustração mostra uma suspensão do tipo estabilizadora. Depois de ter sido usada pela primeira vez no Japão no Toyota Corolla, ela acabou por se tornar um tipo de suspensão extremamente comum em carros de produção. Em uma suspensão do tipo estabilizadora, a cobertura do amortecedor da barra age como um o braço superior de uma suspensão de duplo braço triangular e o substitui. O que reduz o número de componentes necessários para um espaço maior para o motor.

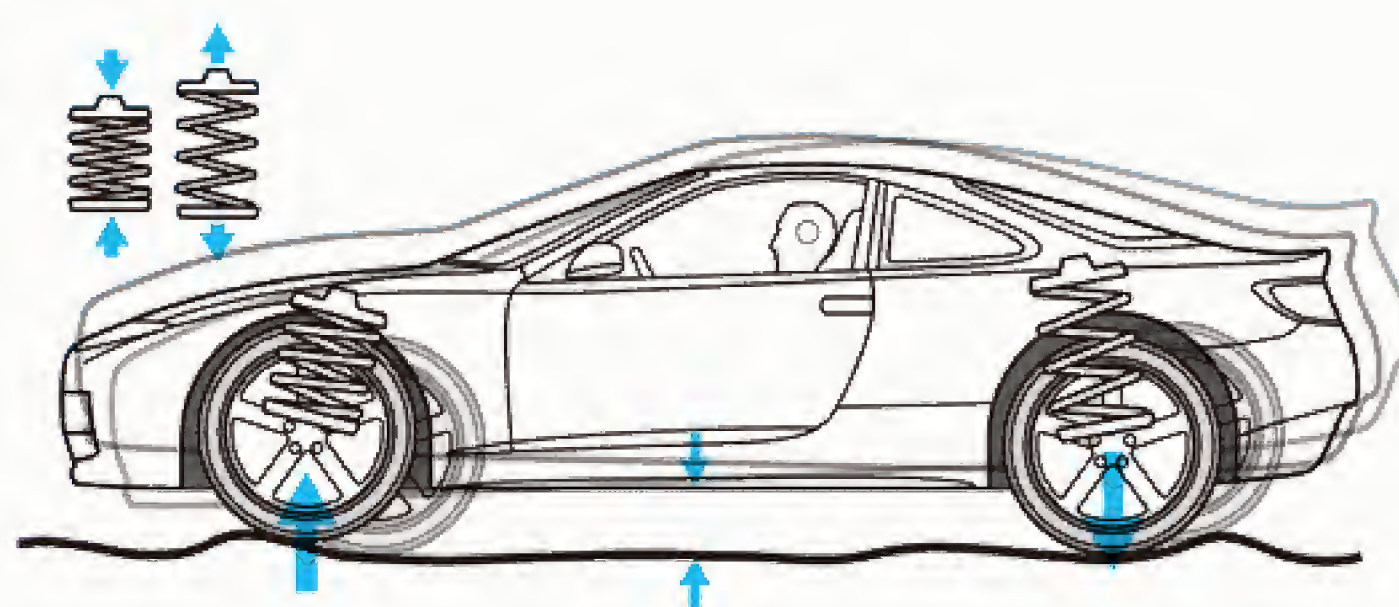


Exemplos de suspensão do tipo estabilizadora

Controle total sobre o deslocamento, a virada e a parada

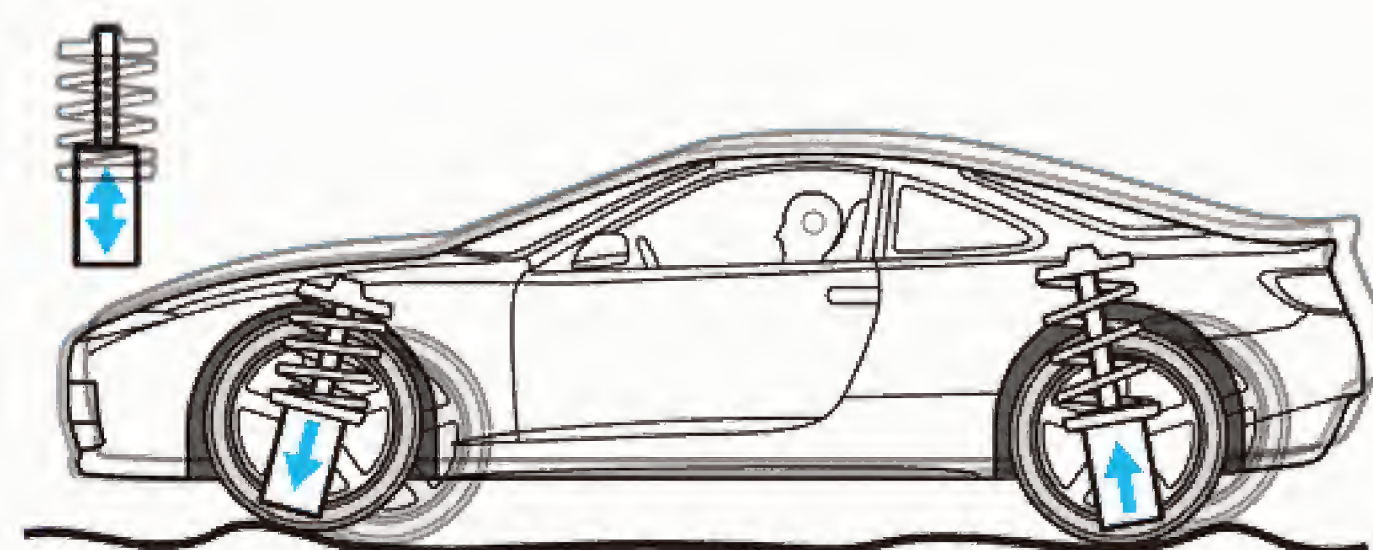
Molas

As molas absorvem o impacto sofrido pelo carro durante a condução, e, além de atenuar o choque, também garantem que o carro permaneça em uma altura constante. Além de garantir o controle, as molas também são um fator importante na dirigibilidade e na estabilidade. Não é exagero dizer que só a configuração das molas pode afetar significativamente o desempenho do carro. Bobinas de metal são mais comumente usadas, mas alguns carros também têm suspensão pneumática movida a ar.



Amortecedores

Uma mola helicoidal pode absorver o impacto quando peso age sobre ela, mas depois que o fez, ela não parará de trepidar verticalmente. Os amortecedores absorvem seu movimento. O tipo mais comum de amortecedor usa a resistência criada por um pistão movendo-se através de óleo e gasolina. O movimento para frente e para trás mais lento serve para absorver o movimento vertical violento da mola. Os amortecedores afetam o controle e a estabilidade da mesma maneira que as molas.



Braços da suspensão

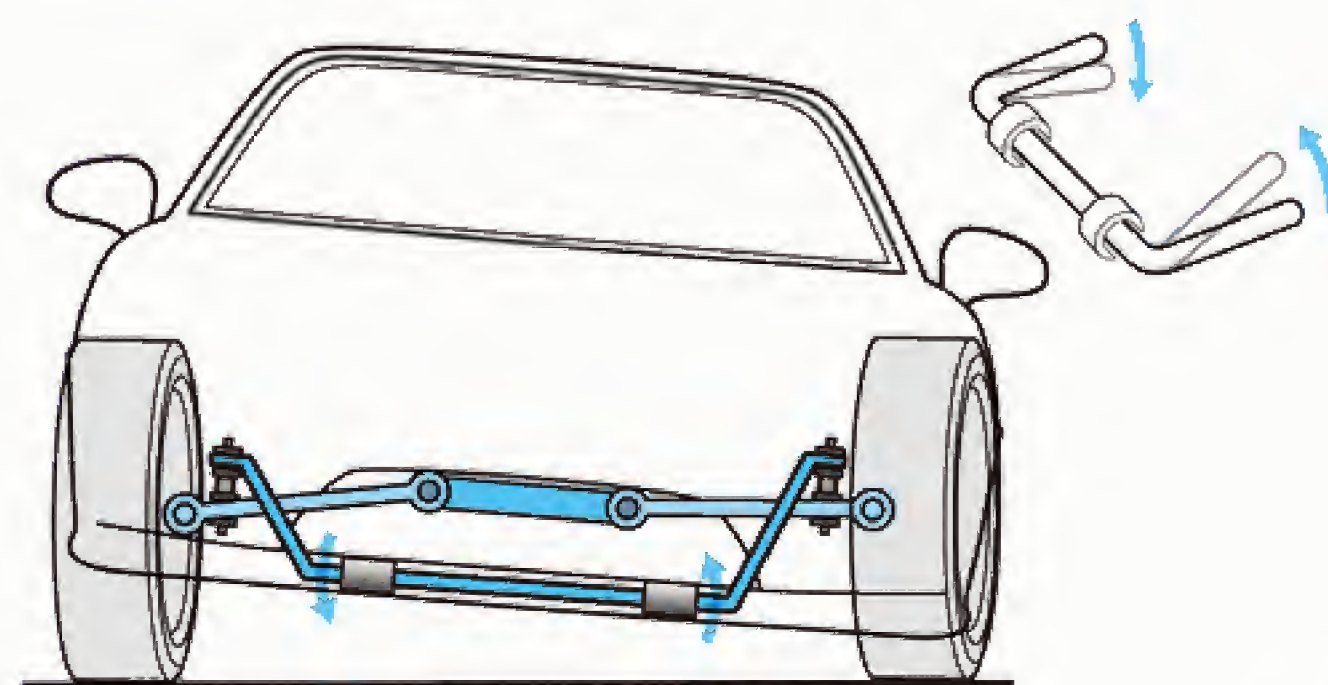
Os braços da suspensão são peças que controlam o movimento da roda. Eles estão conectados à carroceria e ao eixo com buchas entre eles. Há vários tipos, como o braço A e o braço I. Eles são geralmente feitos de metal prensado, mas alguns modelos esportivos usam componentes de alumínio para reduzir o peso. No caso dos braços da suspensão em conjuntos de dois, como na suspensão de duplo braço triangular, o braço na parte de cima é chamado de braço superior e da parte de baixo de braço inferior.

Buchas da suspensão

As buchas da suspensão são materiais amortecedores colocados nas juntas de braços e nas conexões de metal da suspensão, ou em outros locais de conexão na carroceria. Se as buchas forem muito macias, elas se deformarão sob cargas elevadas, como nas curvas. Isso criará um movimento indesejado da suspensão, e será prejudicial ao controle e à estabilidade do carro. Por este motivo, as buchas da suspensão normalmente são feitas de material de borracha com características de absorção muito boas. Em carros de corrida de competição, juntas metálicas esféricas, chamadas de coxins, geralmente são usadas em seu lugar, de forma que a suspensão se moverá com a maior precisão possível. As buchas da suspensão são componentes muito importantes que garantem o desempenho adequado das molas e dos amortecedores.

Barras antioscilação/estabilizadores

Uma barra antioscilação ou estabilizador é um dispositivo estabilizador que ajuda a evitar a capotagem de veículos através de uma barra de torção. Às vezes também são chamados de barra antirrolamento. Elas são conectadas às duas extremidades dos braços da suspensão inferiores, e reagem somente ao movimento irregular da suspensão esquerda ou direita. Por exemplo, ao fazer uma curva, a carroceria do carro na parte externa da curva se rebaixará, enquanto o corpo na parte interna da curva se elevará. A barra antioscilação funcionará para equalizar esse movimento, de forma que o carro não rolará tanto, estabilizando a posição do carro. Dessa maneira, as barras antioscilação podem ser usadas para configurar um carro contra a ação da subviragem ou sobreviragem.



Tipos de suspensão

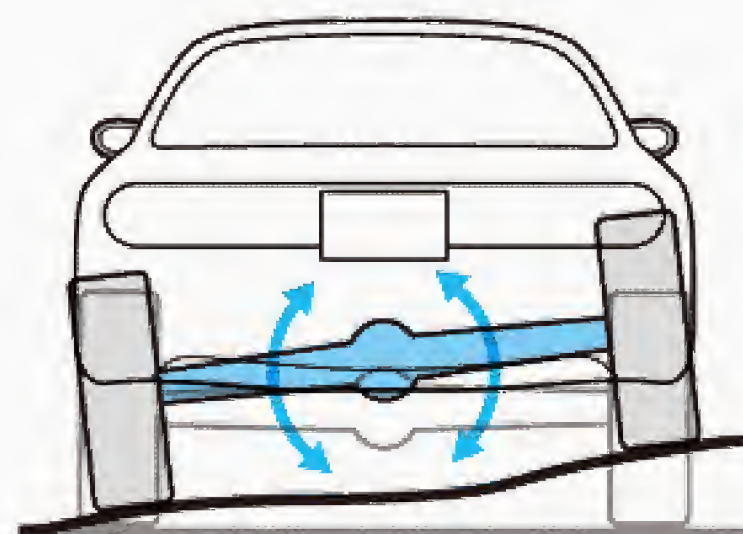
Embora todos os tipos de suspensão realizem as mesmas funções básicas de manter a altura do veículo e absorver as variações e mudanças de carga da condução, cada tipo tem suas próprias características específicas. As características da suspensão afetarão a performance de direção, como fazer curvas, o controle de um carro (que também afeta a segurança) e até mesmo aspectos como o conforto de viagem.

A suspensão está em constante aperfeiçoamento, e novos tipos surgem a todo o momento. Um sistema complicado não significa obrigatoriamente um sistema melhor, mas a necessidade de lidar com solavancos e ondulações instantaneamente e manter as rodas em contato constante com a superfície da estrada levaram à introdução de soluções cada vez mais complexas.



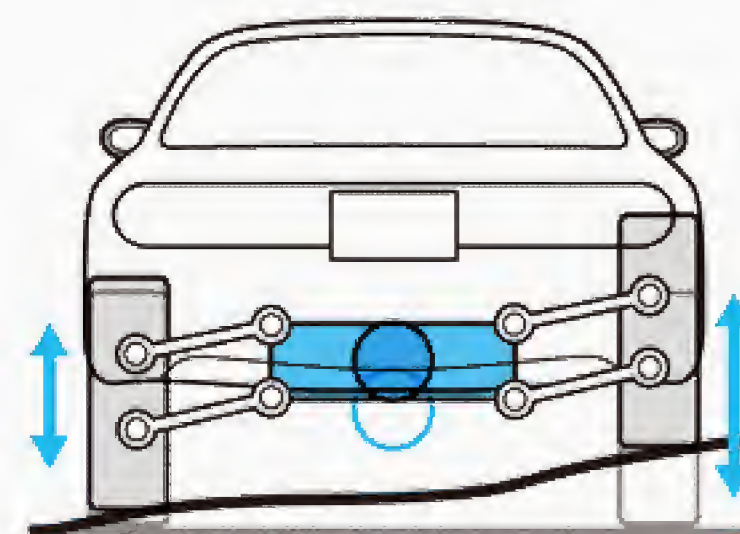
Eixo rígido

Em uma suspensão de eixo rígido, as rodas esquerda e direita são conectadas por um único eixo. Com isso, o movimento em um lado afeta também o outro, tornando mais fácil diminuir o contato com a estrada. As vigas do eixo e o alojamento do eixo são pesados, aumentando a massa não suspensa do carro. No entanto, como é barato fabricar, além de ser resistente, a suspensão de eixo rígido geralmente é usada para a suspensão traseira de carros com tração traseira.



Suspensão independente

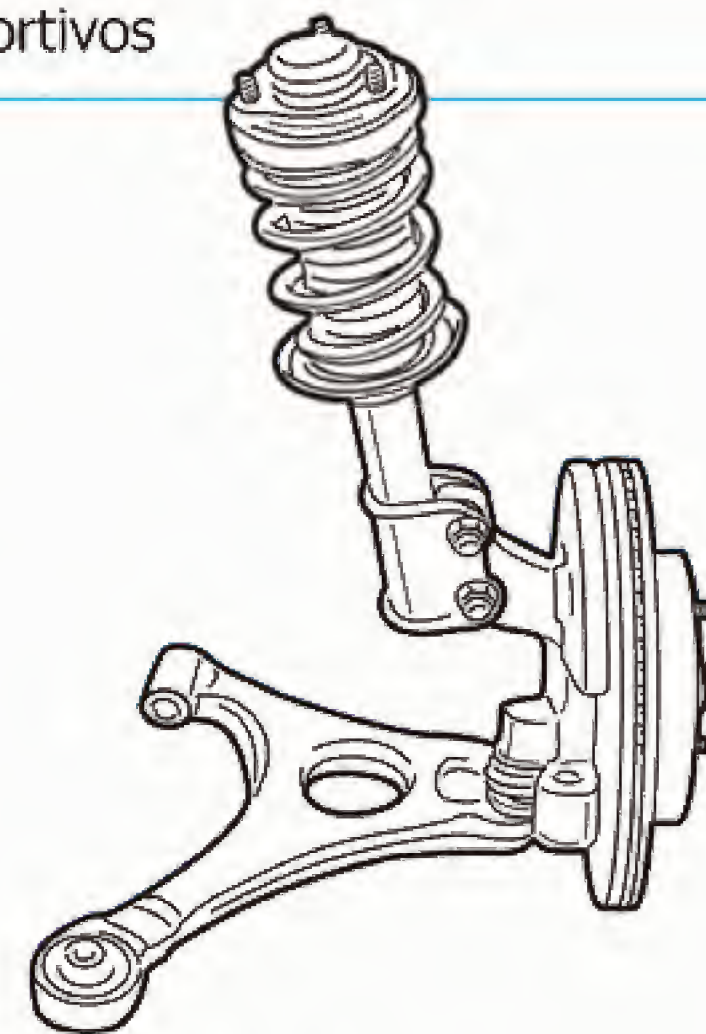
A suspensão independente permite que as rodas esquerda e direita se movam para cima e para baixo individualmente, o que a torna excelente para lidar com as ondulações e solavancos da estrada. No caso de um carro com tração traseira, isso também ajuda a transmitir potência eficientemente para as rodas esquerda e direita. O sistema é leve, estável e possibilita uma condução confortável.



■ Suspensão independente: o sistema favorito da maioria dos carros esportivos

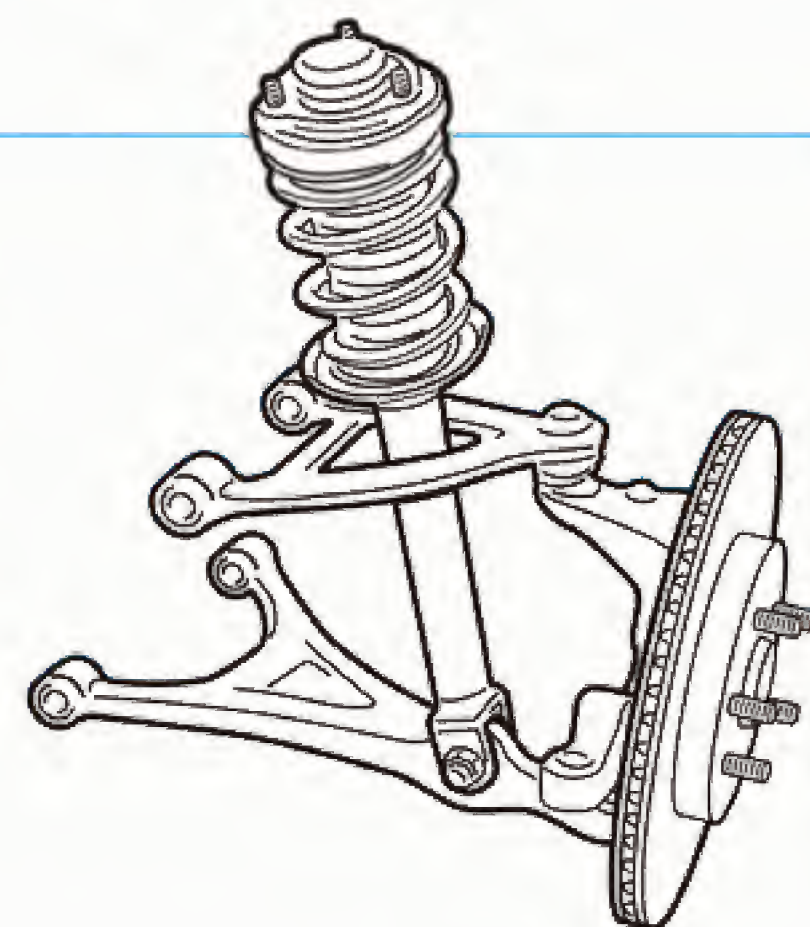
Barra MacPherson

Um sistema de suspensão simples composto por uma mola, um amortecedor de choques e um braço de controle inferior. “Barra” se refere ao próprio amortecedor, que também serve como sustentação neste tipo de suspensão. A parte superior sustenta a estrutura por meio de uma borracha montada e a parte inferior do amortecedor de choque é sustentada pelo braço inferior. Menos peças significa que é leve, e tem boa extensão de curso, significando que a vibração seja absorvida em um intervalo longo. O sistema foi projetado por Earle S. MacPherson, recebendo seu nome.



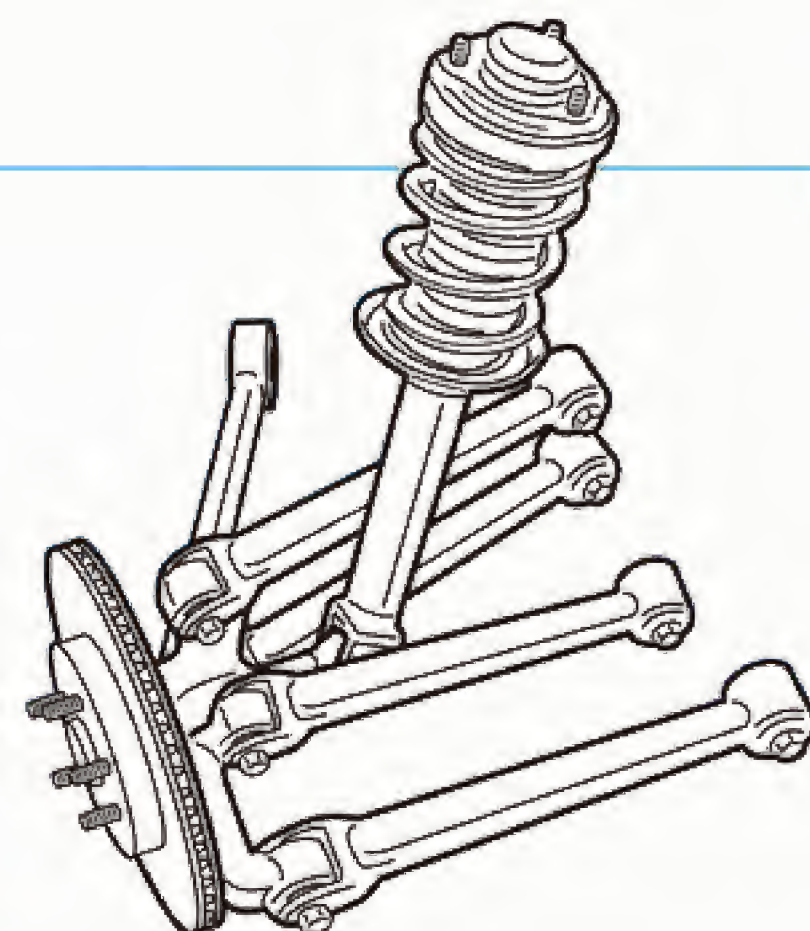
Duplo braço triangular

Um design que sustenta as rodas em um braço superior e inferior conectados. Os braços geralmente têm a forma de V e lembram a fúrcula de pássaros. Dependendo do formato dos braços e do layout do carro, ela pode, com relativa facilidade, controlar mudanças no alinhamento e na posição do carro na aceleração. Também é muito rígida, tornando-o uma opção popular para carros esportivos que priorizam o controle e a estabilidade. No entanto, tem uma construção complicada, usando várias peças e ocupando muito espaço.



Multibraço

Este é uma forma avançada do sistema de duplo braço triangular que usa entre três e cinco braços para manter a posição do eixo. Os braços ficam separados, proporcionando mais liberdade no que diz respeito ao posicionamento, o que permite que seja configurada de forma bem específica. O maior número de braços permite que lide com movimento em várias direções, mantendo as rodas em contato próximo com a superfície da estrada o tempo todo. Este tipo de suspensão geralmente é usado como suspensão traseira de carros FF de alto desempenho, para manter a estabilidade em altas velocidades e de carros de tração traseira de alta potência para manter a tração.



As características dos diferentes tipos de suspensão



Alinhamento das rodas

Observe um móvel com rodízios. Se você olhar de cima para baixo, observará que o eixo da roda está em um ligeiro ângulo em relação ao eixo que o conecta ao móvel. Esse leve desalinhamento é o que faz com que a roda se mova em linha reta quando empurrada, em vez de ziguezaguear.

Agora imagine um pneu de carro rolando pelo chão. Se você colocar o pneu reto e rolá-lo, ele se moverá em linha reta, mas se você incliná-lo ligeiramente, ele virará nessa direção enquanto rola.

Com isso, podemos perceber que quando as rodas são instaladas em um carro, se forem colocadas no ângulo correto, será possível mover as rodas da forma adequada para as condições operacionais do carro. Essa é a base por trás do alinhamento das rodas (ou geometria da suspensão).

Direção, realização de curvas e parada dependem do alinhamento adequado das rodas. Esse "posicionamento" das

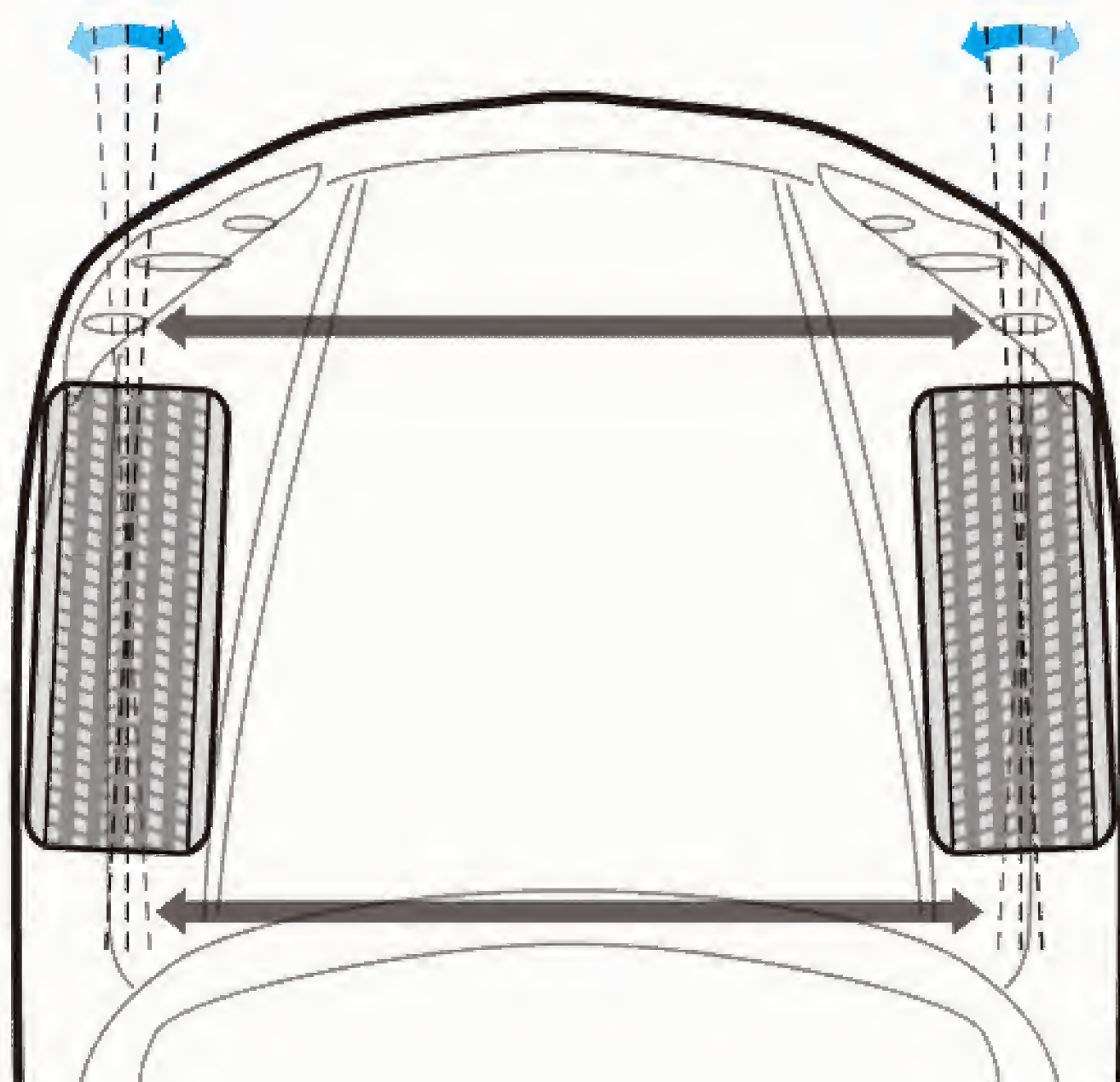
rodas pode maximizar o desempenho dos pneus e pode determinar as características de um carro.

A página ao lado ilustra os quatro ângulos básicos do alinhamento das rodas: o ângulo de convergência é o ângulo das rodas quando visto de cima, o ângulo de câster é o da suspensão quando visto de lado, o ângulo de cambagem é o das rodas quando vista de frente e o ângulo do pino mestre é o ângulo da suspensão em relação à roda vista de frente. Essas configurações são ajustadas em incrementos de cerca de 0,1 grau/0,1 mm, então a margem de erro é pequena e, se um erro for cometido, o carro pode não se deslocar em uma linha reta ou a dirigibilidade pode ser afetada negativamente. Recomendamos que você se lembre dos diferentes efeitos que essas configurações podem ter.

O ângulo das rodas afeta o contato com a estrada e a dirigibilidade

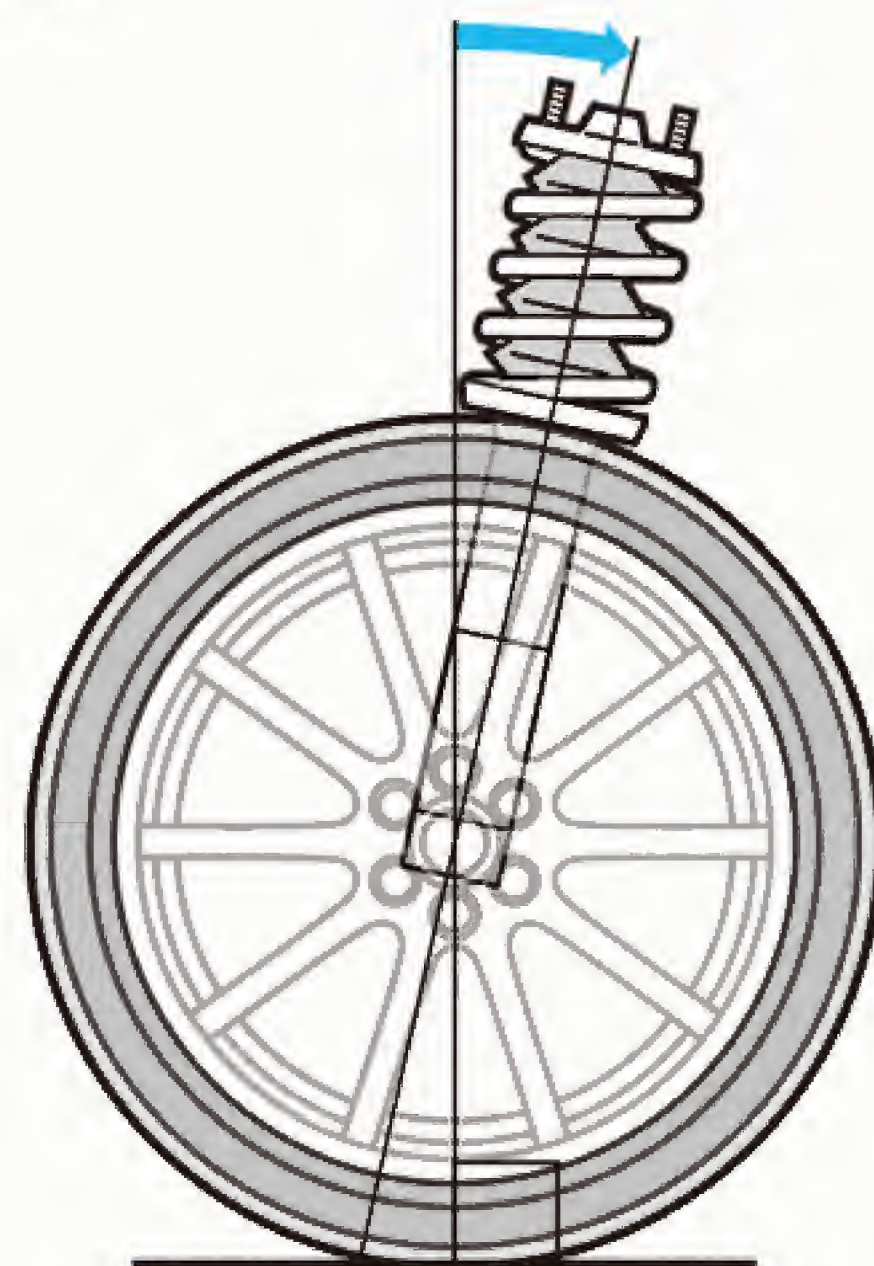
Ângulo de convergência

Este é o ângulo das rodas dianteiras e traseiras ao observar o carro de cima. Se a frente das rodas apontar para fora, isso é chamado de "ângulo aberto", e se apontar para dentro, é chamado de "ângulo fechado". Esse ângulo tem um impacto significativo no movimento para frente do carro e, se definido em um ângulo excessivo, causará o desgaste desigual dos pneus.



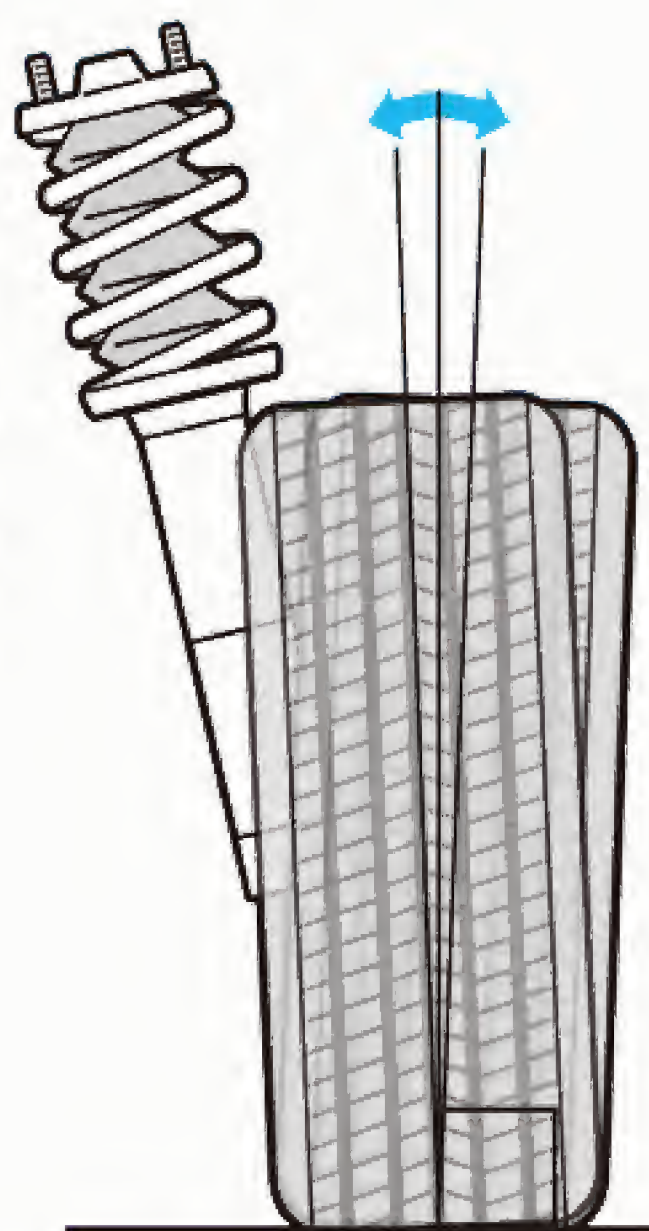
Ângulo de câster

Este é o ângulo que os pneus dianteiros formam com a suspensão dianteira quando observadas da lateral. O ângulo determina a oscilação da roda para os lados e também afeta o torque de autoalinhamento (a força que tenta retornar as rodas para uma posição reta quando o volante é virado). Se os ângulos de câster das rodas direita e esquerda forem diferentes, o carro puxará na direção do ângulo mais raso, ou a dirigibilidade puxará para um lado na frenagem.



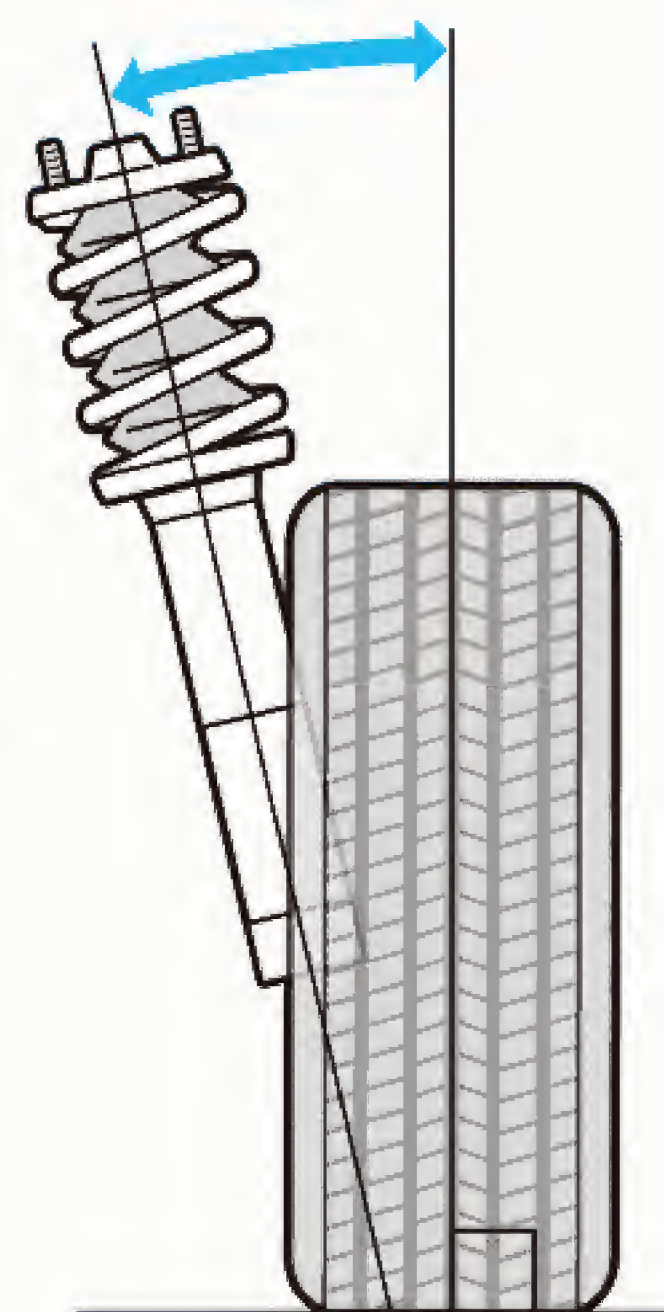
Cambagem

Este é o ângulo das rodas em relação à estrada ao observar o carro de frente. Se a parte de cima das rodas aponta para dentro, tem-se uma "cambagem negativa". Se ela aponta para fora, a cambagem é positiva. Na maioria dos carros, a cambagem é ligeiramente positiva para compensar os efeitos de cargas pesadas.



Inclinação do pino mestre

Esse é o ângulo do eixo do encaixe das rodas quando visto de frente. Normalmente, o ângulo é ajustado para evitar que as características da superfície da estrada puxem a roda para fora da mão do piloto, mas também pode afetar o deslocamento em linha reta, o retorno da direção (torque de autoalinhamento) e a força de direção.



A ligação entre o carro e a estrada

Depois de ter passado pela transmissão e pela suspensão, a potência do motor será finalmente transferida para a estrada por meio das rodas. Independentemente da qualidade do carro, seu desempenho dependerá de seus pneus.

Sobressalente de alto desempenho

Em linhas gerais, as características dos pneus podem ser divididas em quatro categorias: suporte de carga, absorção de choque, aceleração e frenagem e manutenção do deslocamento em linha reta em durante curvas. Quando um bom equilíbrio dessas quatro funções básicas é estabelecido, os pneus são ajustados para suas necessidades específicas.

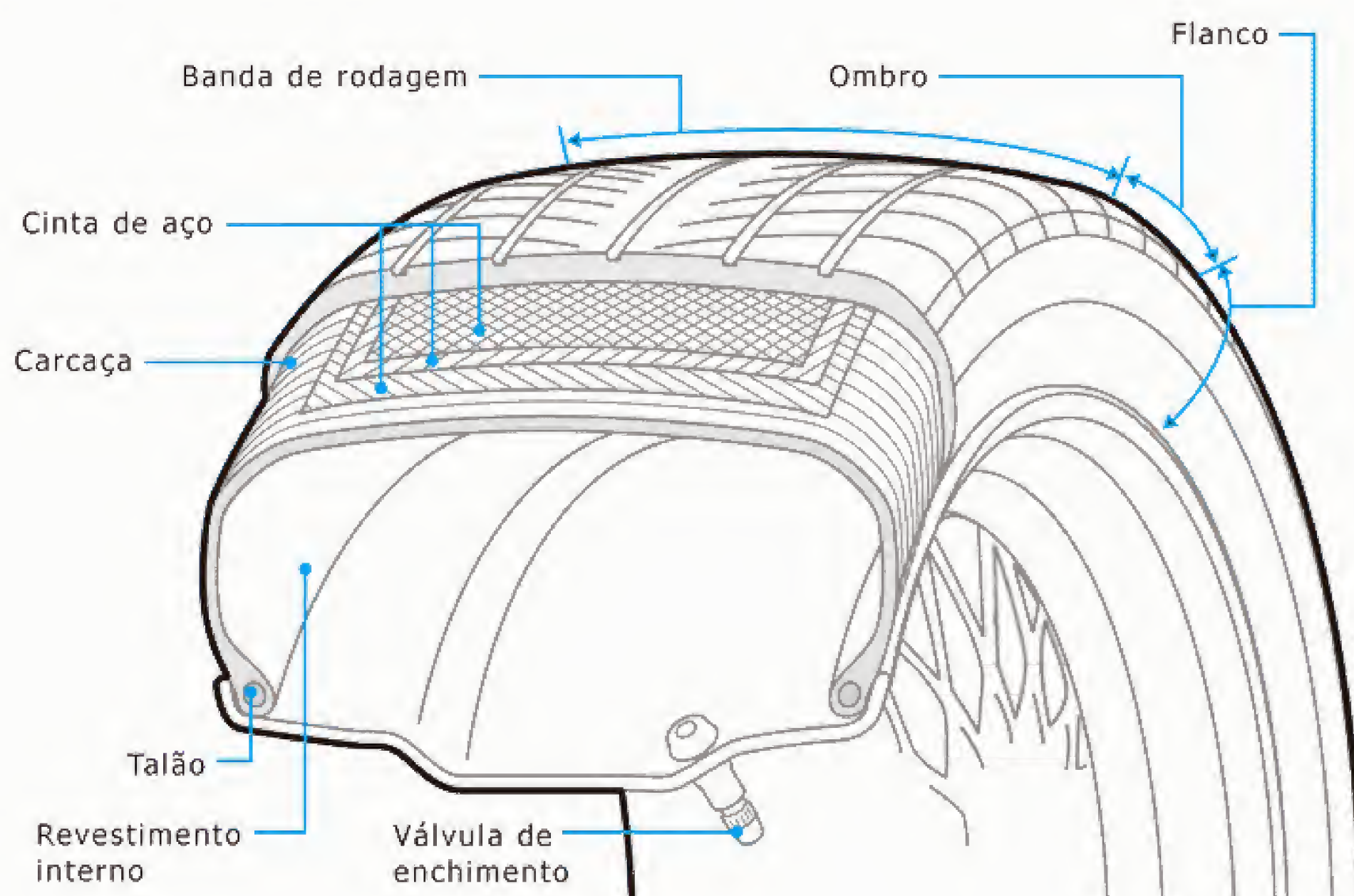
Carros esportivos se beneficiam de pneus que podem acelerar, desacelerar e manter o percurso para garantir um bom desempenho de direção, de realização de curvas e frenagem. Esses pneus serão feitos de borracha de grande aderência à superfície da estrada e serão muito rígidos para impedir que mudem de forma sobre carga. Isso aumenta a direção assistida em curvas e permite que as curvas sejam feitas em velocidades mais altas.

É claro que pneus com alta aderência têm suas desvantagens. Embora tenham alta capacidade de aderência em curvas, a recuperação quando essa capacidade é ultrapassada é difícil, exigindo alto nível de habilidade de direção. Esses pneus podem aumentar a tensão na suspensão e na carroceria, enquanto a rolagem em curvas é aumentada devido à aderência

extremamente alta. Os pneus têm um desempenho tão alto que podem influenciar o equilíbrio do carro, o que significa que o próprio carro deve ter alto desempenho para usar esses pneus. Você deve também lembrar que, como há muito atrito entre o pneu e a estrada, eles se desgastam mais rapidamente, diminuindo o conforto do passageiro e ficando mais barulhentos.

A aderência em estradas molhadas é ditada, em grande parte, pelo padrão dos sulcos feitos na superfície do pneu. Esses sulcos são projetados para livrar o pneu da água que fica depositada pelo contato com a superfície da estrada molhada, mas também reduzem a rigidez. Obter o equilíbrio correto é difícil, especialmente com pneus esportivos.

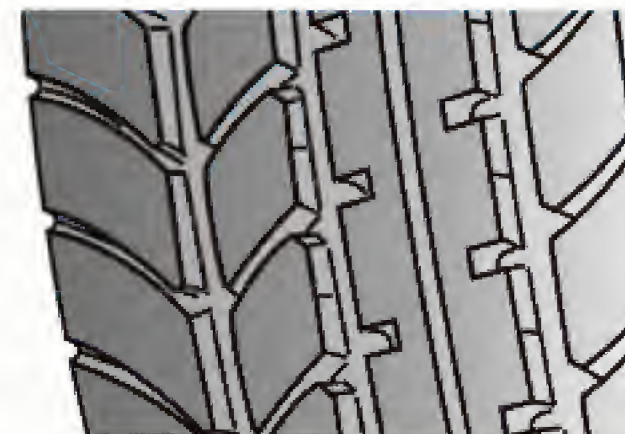
Um carro não pode exceder as limitações de seus pneus, e, por esse motivo, é essencial que um piloto compreenda completamente o desempenho e as características, para selecionar um pneu que corresponda a suas características.



Aderência e rigidez: a chave da velocidade

Composto da banda de rodagem

Essa é a borracha usada na superfície do pneu e que faz contato com a estrada. A borracha macia usada para pneus de alto desempenho mantém uma boa aderência na estrada, mas desgasta-se rapidamente, enquanto que pneus para carros standard mantêm a aderência somente até certo nível, aumentando a durabilidade. Os pneus normalmente são duros e não exibirão seu potencial completo de aderência até serem aquecidos a um determinado nível. No entanto, se eles se sobreaquecerem, sua aderência será reduzida.



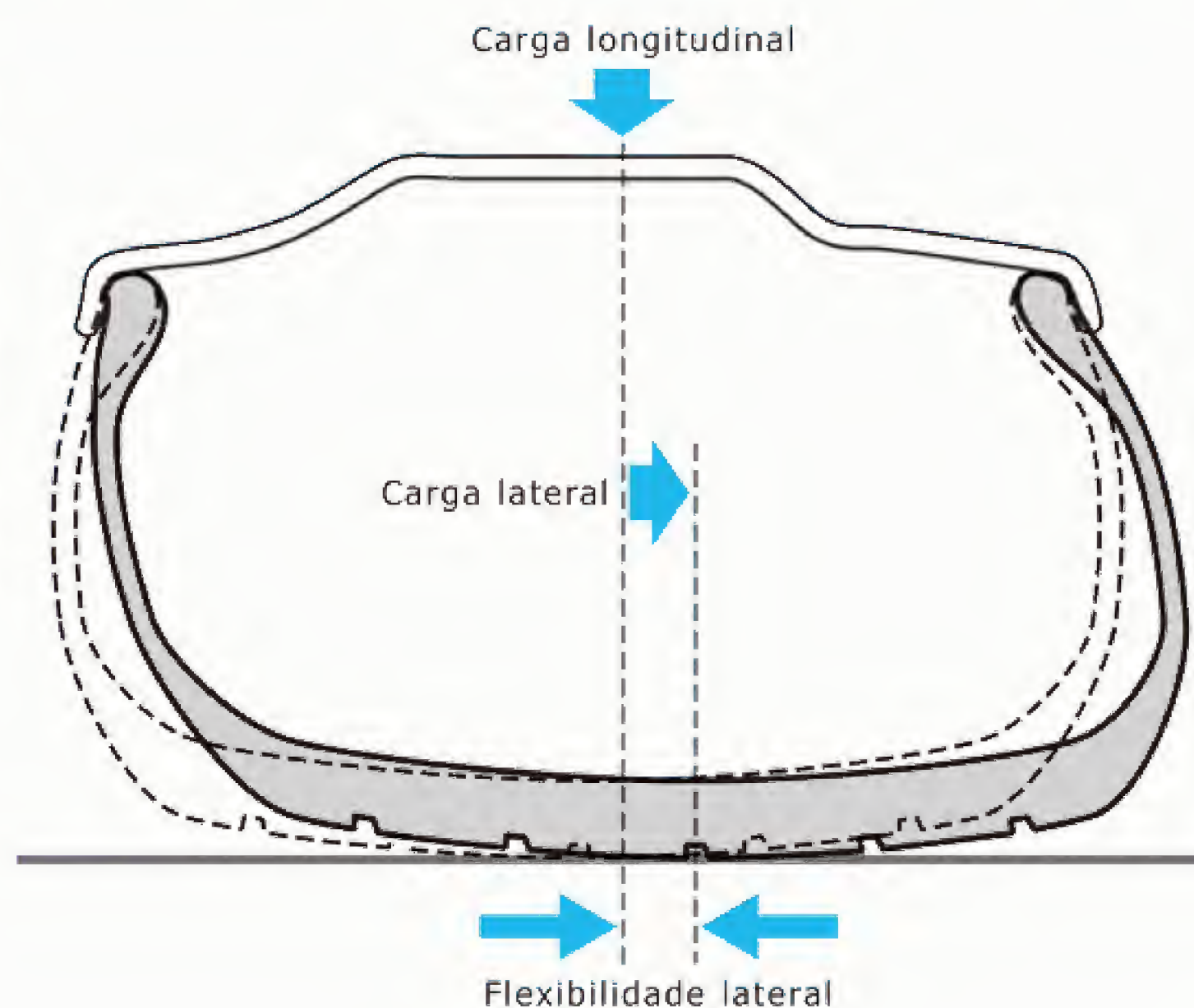
Padrão da banda de rodagem

O padrão dos sulcos entalhados na parte da superfície do pneu que faz contato com a estrada. A finalidade principal desses sulcos é eliminar a água dos pneus quando as rodas giram, sendo que muitos pneus terão uma direção definida de rotação para o padrão do pneu que maximiza a característica de eliminação de água. Por outro lado, à medida que esses padrões reduzem a rigidez da superfície, os pneus de alto desempenho usam poucos sulcos grandes em vez de um padrão complexo de sulcos pequenos. Existem também designs assimétricos com menos sulcos na borda externa para aumentar a rigidez em curvas, mas com mais sulcos na parte interna para eliminar a água do pneu.



Rigidez da cobertura

A cobertura é toda a superfície do pneu, incluindo a banda de rodagem, os flancos, o talão etc. As forças que agem sobre a banda de rodagem a partir da superfície da estrada são transmitidas para várias partes, até que cheguem à base do talão. É importante ter uma cobertura rígida para evitar o empenamento desnecessário em situações como aceleração, desaceleração e em curvas, quando a cobertura fica sobre alto nível de carga. No entanto, à medida que a rigidez e a performance de direção são aumentadas, o conforto do passageiro diminui, sendo que os pneus são ajustados especificamente para suas características e aplicação.



Rodas de alumínio

Uma redução de 1 kg no peso não suspenso é equivalente a uma redução de 15 kg no peso suspenso. Rodas de estrada leves ajudam a obter o melhor desempenho na aceleração, desaceleração, frenagem e na realização de curvas.

Peso não suspenso

Embora geralmente vistas como item decorativo, as rodas de alumínio afetam significativamente a performance de direção.

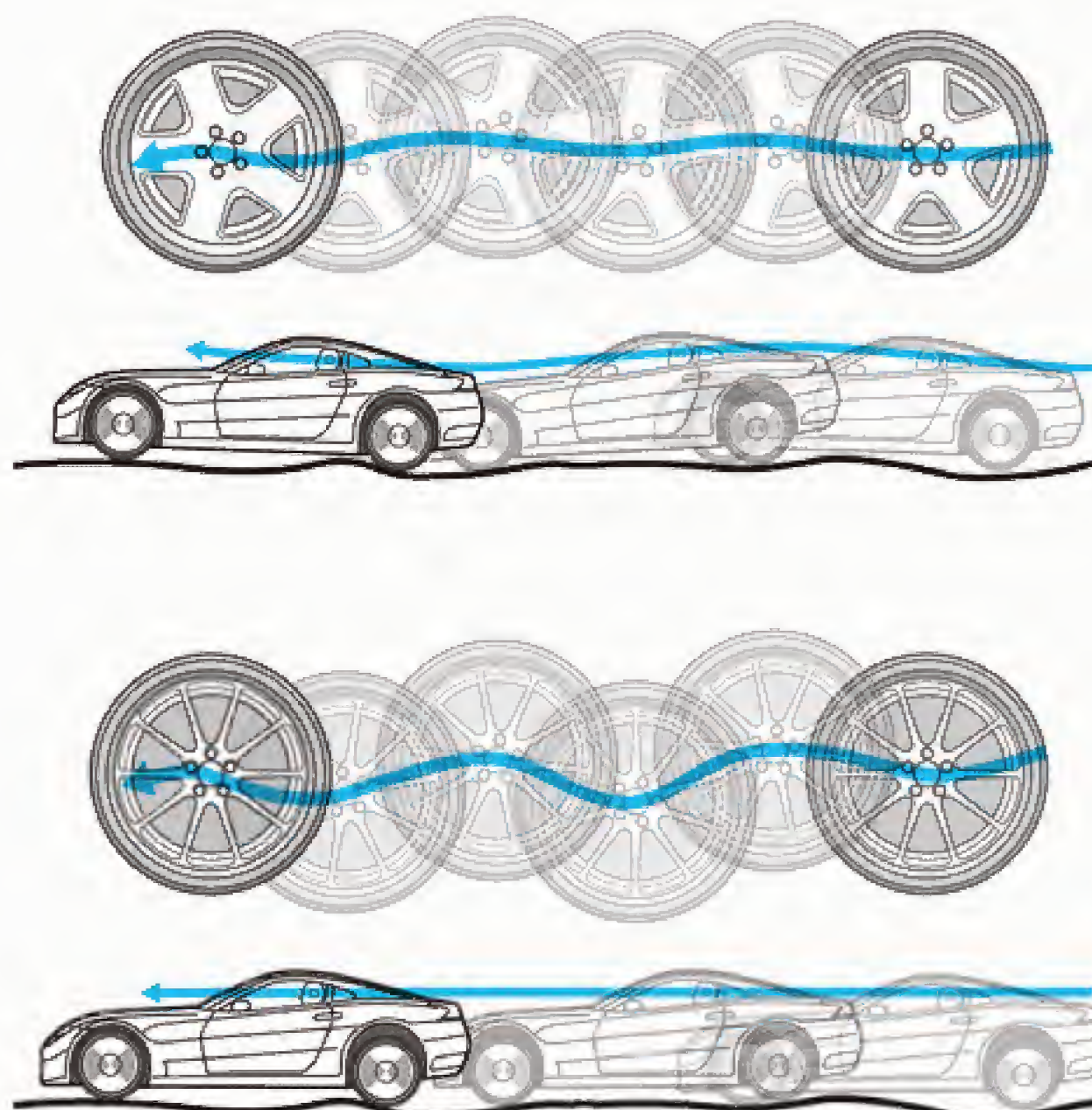
Um carro necessita de mais potência na arrancada. É necessária muita energia para fazer com que as rodas comecem a girar a partir de uma posição estacionária, e, quanto mais pesadas as rodas, mais energia é necessária. Rodas mais leves necessitam de menos energia e, portanto, menos potência do motor.

O peso não sustentado pela suspensão é conhecido como “peso não suspenso”, e tem um impacto significativo no desempenho de condução de um carro. Se as rodas e pneus forem leves, a aceleração e a arrancada serão aperfeiçoadas, e a eficiência da frenagem aumentará, pois será mais fácil fazer com que as rodas parem de girar. A suspensão também será mais suave, aumentando o conforto do passageiro e o movimento sobre a superfície da estrada. Maior economia de combustível é outro benefício.

A popularidade das rodas de alumínio nos carros esportivos é a prova das vantagens de desempenho que elas oferecem. Um quilo a menos de peso não suspenso é o equivalente a uma redução de 15 kg de peso suspenso, sendo que, no mundo do automobilismo, o peso não suspenso, às vezes, é reduzido ainda mais com o uso de rodas de liga leve de magnésio, que são ainda mais leves que o alumínio.

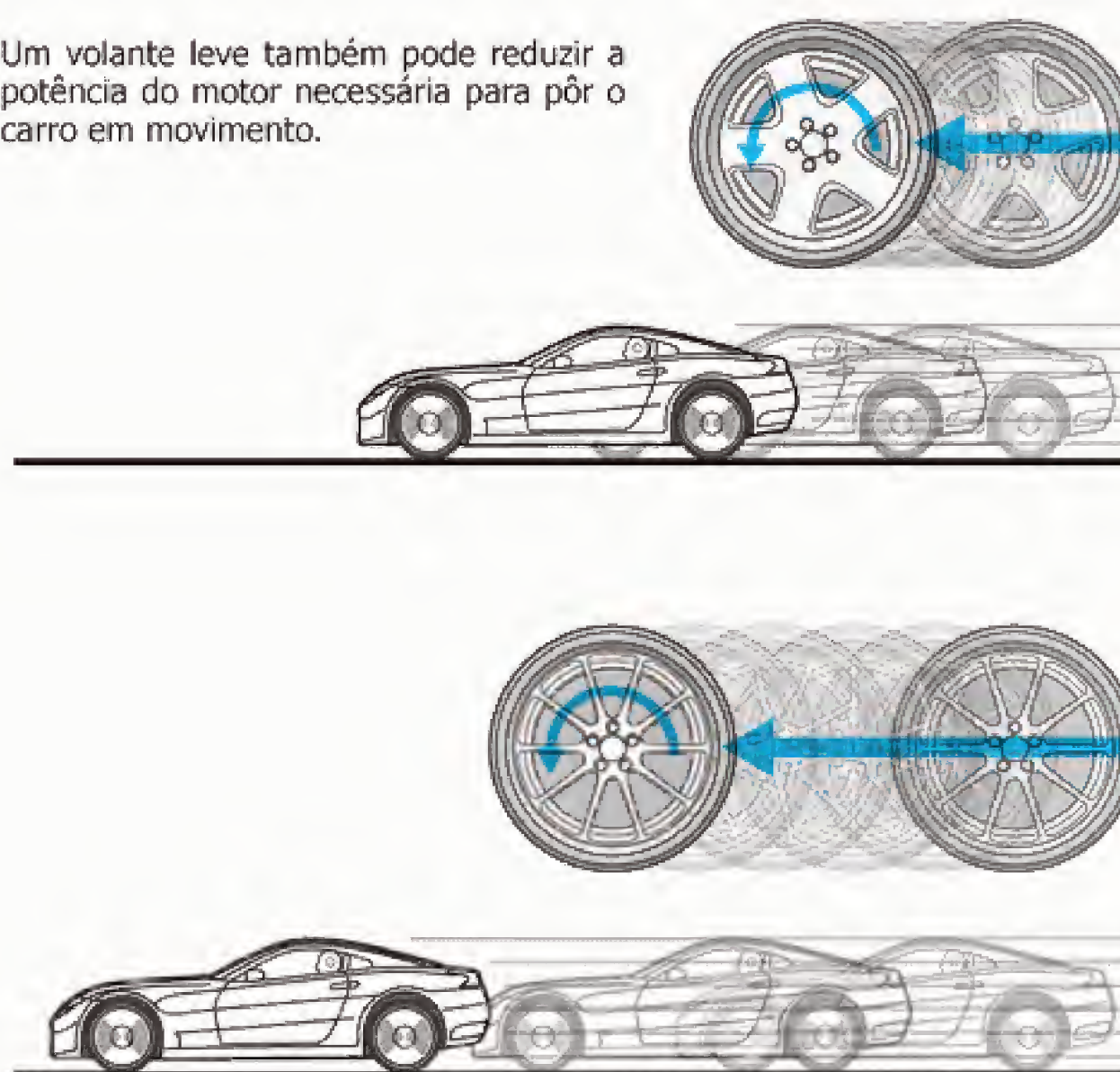
As principais rodas de alumínio têm o benefício da condução eficiente de calor, podendo liberar de forma eficiente o calor gerado pelos freios. Elas também são mais resistentes à corrosão do que as rodas de aço.

No entanto, deve-se tomar cuidado ao instalar novas rodas, pois um tamanho maior pode neutralizar os benefícios de peso advindos do uso de um material mais leve. A maioria dos incrementos no tamanho da roda terá o efeito inevitável de aumentar o peso não suspenso, sendo que as vantagens de pneus de perfil mais baixo precisam ser ponderadas cuidadosamente em relação às desvantagens dessa maior carga.



Quanto mais leve o peso do volante, mais fácil é acompanhar a superfície da estrada com o pneu, proporcionando uma condução estável e confortável.

Um volante leve também pode reduzir a potência do motor necessária para pôr o carro em movimento.



Tipos de rodas leves

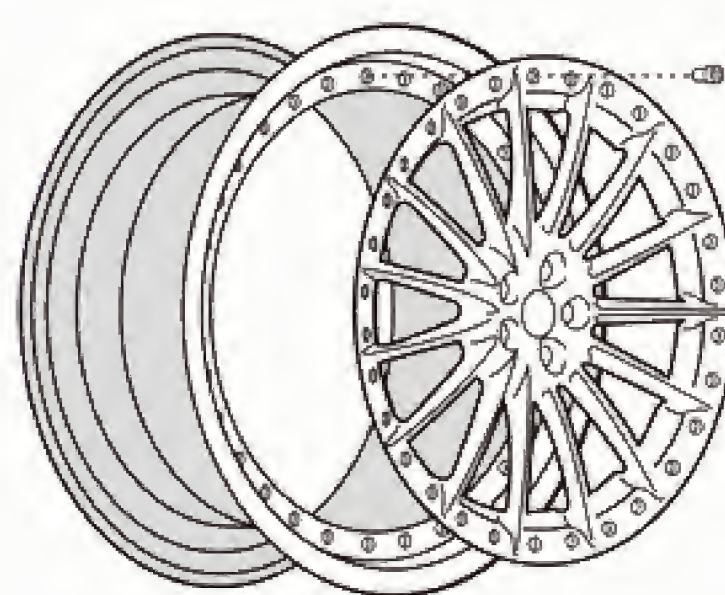
Peça única

Nesta construção básica, os aros e o disco são feitos a partir de uma única peça de metal. As rodas são usinadas depois da fundição (ou forja), proporcionando a elas alto grau de precisão. Há relativamente pouca liberdade de design, mas o fato de que elas são feitas a partir de uma única peça de metal as torna mais leves e mais equilibradas do que rodas de 2 ou 3 peças.



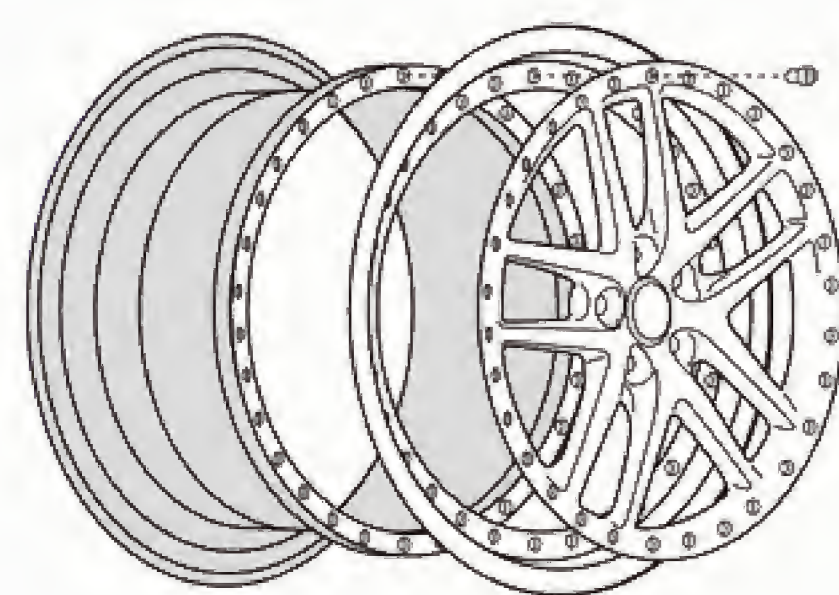
Duas peças

O disco e o aro são feitos como duas peças separadas, que são unidas com porcas e parafusos ou soldadas. Os materiais usados para fabricar o disco e o aro podem ser diferentes (alumínio, magnésio, titânio etc.), assim como o método de fabricação (forja ou fundição). Essas rodas apresentam o benefício de oferecer mais opções em termos de design do disco e grau de deslocamento.



Três peças

As partes traseira e dianteira do aro são soldadas e o disco é conectado com rebites. O design de três peças tem as mesmas vantagens do design de duas peças, embora seja ligeiramente mais pesado em função dos rebites. No entanto, esse design tem ainda mais liberdade do que o de duas peças, sendo que rodas construídas com foco no estilo geralmente são deste tipo.



Métodos de fabricação

Fundição

Um método por meio do qual o alumínio fundido é derramado em uma forma. Nas rodas de duas e três peças, o alto grau de flexibilidade do design do disco é uma vantagem. No entanto, o metal precisa ser bem grosso para ser suficientemente resistente, o que diminui a vantagem de peso em relação às rodas de aço. Apesar disso, seu baixo custo faz da fundição o método mais comum na fabricação de rodas de alumínio.

Forja

Um bloco de metal é comprimido com milhares de toneladas de pressão (para alinhar as moléculas do metal), criando um material duro e resiliente. Comparada com a moldagem, o metal é muito mais forte, de forma que a espessura das peças pode ser reduzida e os componentes podem ficar mais leves. A maior rigidez significa que a resistência à tração é alta, mas é fraca contra forças de torção. Também é mais caro produzir e as possibilidades de design são limitadas, devido ao processo de fabricação. Os materiais não se limitam ao alumínio, e há casos nos quais carros de corrida e alguns carros esportivos usam rodas forjadas de magnésio que são ainda mais leves.

Os diversos benefícios do peso reduzido

O efeito do ar na carroceria

O projeto da carroceria pode transformar completamente o desempenho de alta velocidade, aumentando a velocidade máxima, a estabilidade e a eficiência. Nenhuma discussão de design automotivo seria completa sem a análise da importância da aerodinâmica.

Resistência do ar e sustentação

Em alta velocidade, o efeito da resistência do ar é enorme. Às vezes, tem-se a impressão de que há uma parede invisível de ar impedindo o carro de ir mais rápido.

A partir do momento em que um carro se desloca a acima de 80 km/h (50 mph), o efeito da resistência do ar não pode ser ignorado. Depois desse ponto, a resistência do ar aumenta proporcionalmente ao quadrado da velocidade do carro. Ou seja, se a velocidade do carro dobrar, a resistência do ar quadruplicará e, se a velocidade triplicar, a resistência do ar aumentará em nove vezes. Há que se considerar também a resistência de rolagem das rodas, mas essa resistência não é tão crítica, porque quando a potência do motor não pode mais superar a parede de ar, essa será a velocidade máxima efetiva do carro. Em carros de corrida e carros esportivos que precisam alcançar alta velocidade e garantir o desempenho em faixas de alta velocidade, e até mesmo carros de rua que precisam alcançar eficiência máxima, a redução da resistência do ar é uma preocupação importante.

Carros mais próximos do chão têm menor resistência do ar do que carros mais altos, e formas fluidas ou agudas, que permitem a passagem suave do ar, também têm menor resistência. Projetos com superfícies de carroceria fluidas, que não têm ressalto ou peças salientes, também permitem que o ar passe mais livremente.

Por outro lado, é importante ter em mente que a maioria das formas de carroceria de baixa resistência se assemelha a asas de aeronaves quando vistas lateralmente e, exatamente como asas, o ar flui mais rápido sobre elas do que sob elas, gerando sustentação, fazendo com que o carro perca o contato com o solo. Mas suprimir a elevação aumenta a resistência do ar, sendo que uma parte importante do desenvolvimento de projetos é determinar onde colocar o equilíbrio entre resistência do ar e elevação.

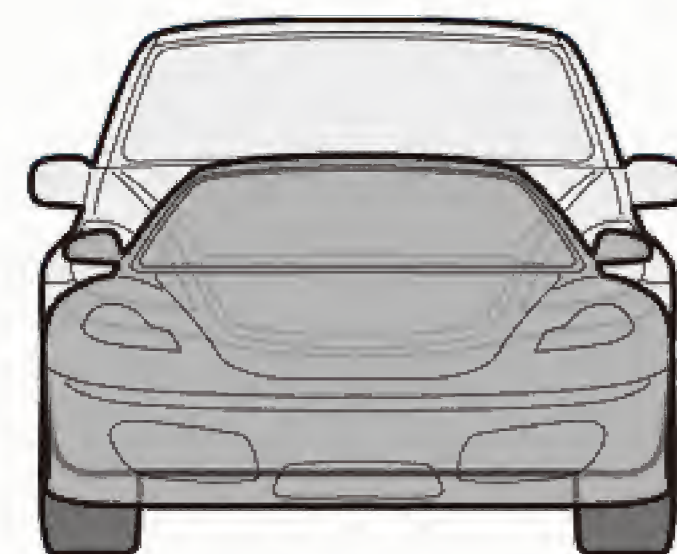
Além disso, a dificuldade de condução em linha reta devido a ventos contrários também precisa ser levada em consideração, ou seja, uma carroceria aerodinâmica necessita de um equilíbrio total entre resistência do ar, sustentação e o momento de guinada.



Área da superfície dianteira

► Área dianteira

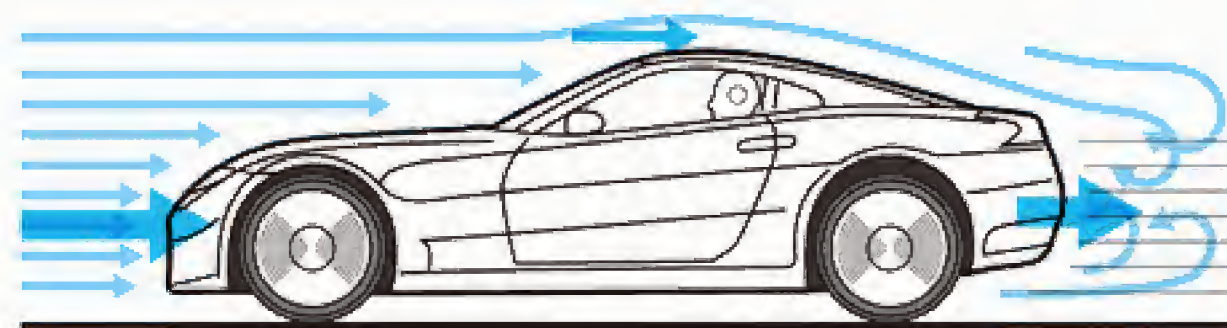
A silhueta da carroceria do carro quando vista de frente. Quanto maior a área, mais resistência do ar será encontrada. A redução da superfície da área frontal, ou da resistência do ar, é um dos motivos pelos quais os carros esportivos tendem a ter carrocerias mais baixas. Ter a área dianteira grande é uma desvantagem de carros mais quadrados e minivans.



Cd: coeficiente de resistência

► Arraste constante

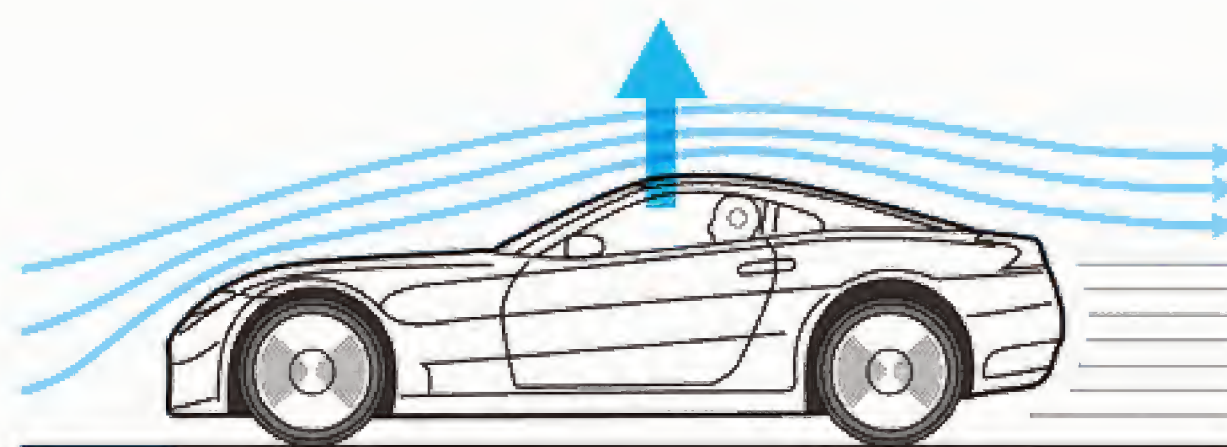
Um número que representa o nível de suavidade com que o ar passa por sobre um objeto. Este é um valor fixo e, como tal, não é afetado pela velocidade. A resistência do ar é calculada multiplicando-se o coeficiente de resistência pela área frontal. Assim, se Cd for grande, mas a área frontal pequena, como em muitos carros esportivos pequenos, a resistência do ar será pequena. O inverso pode ser dito para sedans que têm uma área frontal maior.



Cl: coeficiente de elevação

► Elevação constante

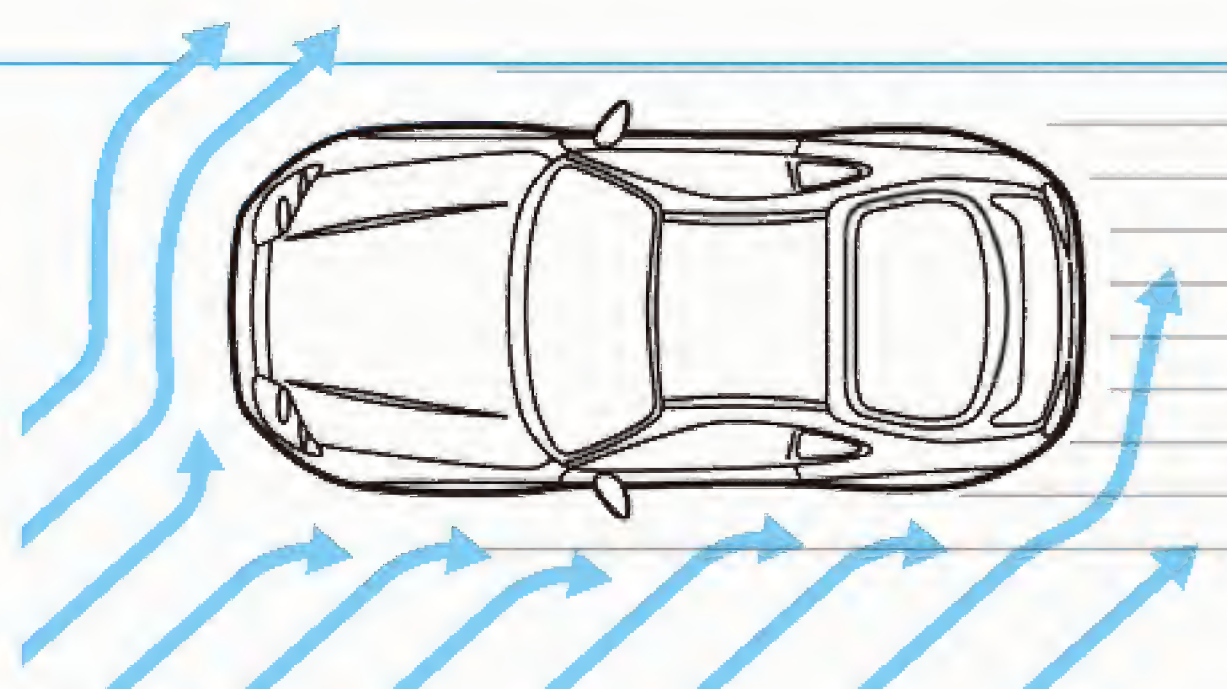
Esse é um número que representa a força para cima exercida sobre um carro, causada pelo ar no deslocamento em velocidade. A força contrária é chamada de "força descendente" ou "elevação negativa". Alcançar a força descendente significa aumentar a resistência, sendo que a garantia da estabilidade depende do equilíbrio entre o valor ideal de força descendente dianteira e traseira.



CYM: momento de guinada constante

► Coeficiente do momento de guinada

Ao dirigir, os ventos nem sempre vêm na direção frontal do carro. A força que ocorre no centro do carro, e que pode fazer com que o carro gire se atingido por ventos laterais é chamada de "momento de guinada". Carros com CYM menor são resistentes a ventos laterais e, de forma geral, carros altos com centro de gravidade mais alto são mais afetados.



Fatores que inibem o desempenho de alta velocidade

| ÍNDICE DE PALAVRAS-CHAVE | Análise: Mecanismo |
|--------------------------|--|
| | 4x4 93 |
| A | Alinhamento das rodas 118 Amortecedor 114 Ângulo de cáster 118 Ângulo de convergência 118 Ângulo do pino mestre 118 Área da superfície dianteira 125 AT 105 |
| B | Balanço 90 Banda de rodagem 120 Barra 114 Bloqueio de vapor 111 Braço de suspensão 114 Bucha da suspensão 115 |
| C | Cambagem 118 Carroceria da estrutura 109 Cd (coeficiente de resistência) 125 Chassi monobloco 109 CL (coeficiente de elevação) 125 Composto da banda de rodagem 121 CVT 105 CYM (coeficiente do momento de guinada) 125 |
| D | DCT 105 Disco sólido 112 Discos ventilados 110 DOHC 96 Duplo braço triangular 114 |
| E | Eixo 90 Eixo rígido 116 Elevação 124 Em linha 95 Equilíbrio do peso 92 Estabilizador 115 |
| F | FF 92 Forja 123 FR 92 Freios a tambor (freios tipo leading-trailing) 111 Fundição 123 |
| L | LSD (diferencial de deslizamento limitado) 107 |
| M | Massa não suspensa 116 Mola 114 Momento de inércia da guinada 90 Motor rotativo 97 Motor tipo V 95 Motor tipo W 95 MR 92 Multibraço 117 |
| O | OHV 96 Oposto horizontalmente (motor) 95 |
| P | Padrão da banda de rodagem 121 |
| R | Relação curso-diâmetro 103 Relação peso-potência 91 Rigidez 108 Rigidez da cobertura 121 RR 92 |
| S | Sistema de controle ativo 107 Sistema híbrido 100 Sistema paralelo 101 SOHC 96 Supercompressor 98 Suspensão independente 114 |
| T | Taxa de compressão 103 Tipo com perfuração cruzada 112 Tipo de aleta espiral 112 Tipo de disco 112 Tipo de pistão oposto 110 Tipo de tambor 111 Tipo flutuante 113 Tipo independente 116 Tipo paralelo de série 101 Tipo sensível à velocidade (LSD) 107 Tipo sensível ao torque (LSD) 107 Tipo série 101 Tração 91 Transmissão com diferencial 106 Turbocompressor 97 |
| U | Última marcha 105 |

Análise: Ajustes e configurações

3

A Revista do Gran Turismo
Beyond the Apex



Melhorando o desempenho do motor

O ajuste de um motor apenas para obter potência máxima resultará num carro difícil de dirigir e que não terá bom desempenho na pista. O ajuste é uma questão de tentar atingir a configuração ideal para o veículo com base na pista e em seu estilo específico de pilotagem.

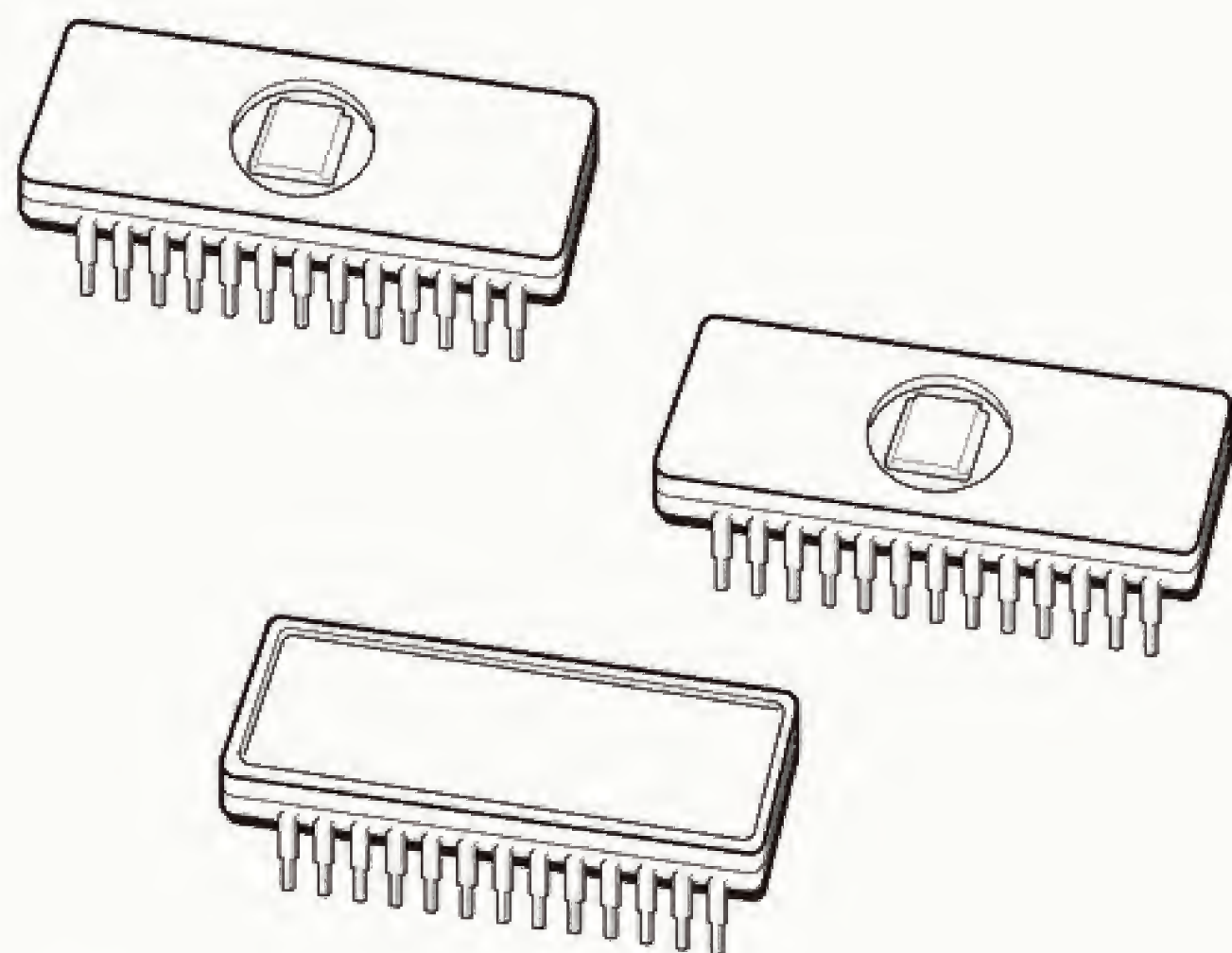
Ajuste fino

A substituição da unidade de controle do motor (UCM) e o aperfeiçoamento do sistema de escapamento são algumas das formas mais básicas de melhorar o desempenho de um motor. Quando estes passos tiverem sido tomados, eles definirão a base para fazer modificações mais sérias, como o ajuste mecânico ou a instalação de um turbocompressor. Esses primeiros passos podem não proporcionar um grande aumento na potência, mas eles levarão a revoluções mais suaves e resposta mais rápida. A tensão adicionada ao motor com essas modificações é relativamente pequena e, na verdade, isso protegerá o motor quando receber carga alta.



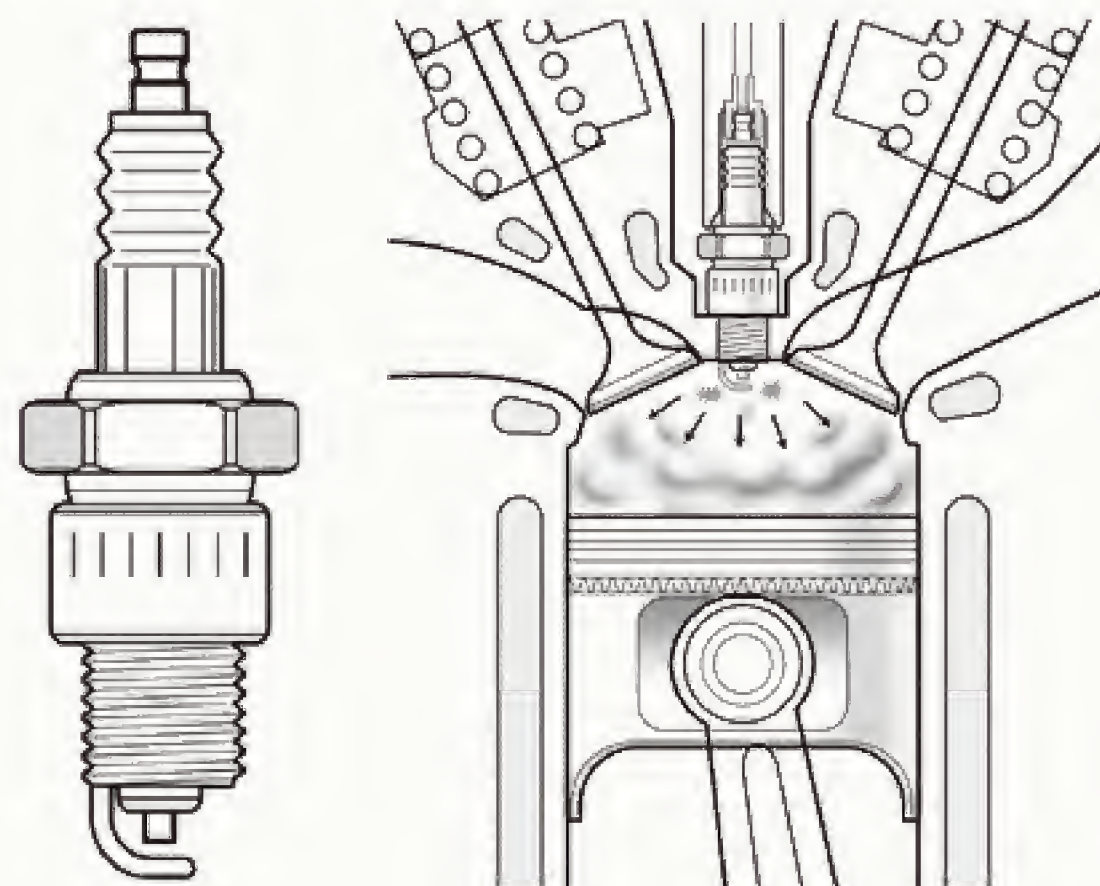
Unidade de controle do motor (UCM)

A atualização dos dados de controle do motor salvos no ROM da UCM é conhecida como "ajuste do chip" ou ajuste da UCM. Além do tempo de ignição, a relação entre combustível e ar, o volume de injeção de combustível e a temporização das válvulas também podem ser calibrados. O ajuste da UCM é necessário sempre que você aumentar a pressão do turbo, substituir alguma peça do sistema de admissão ou escapamento ou fizer modificações ao motor em si.



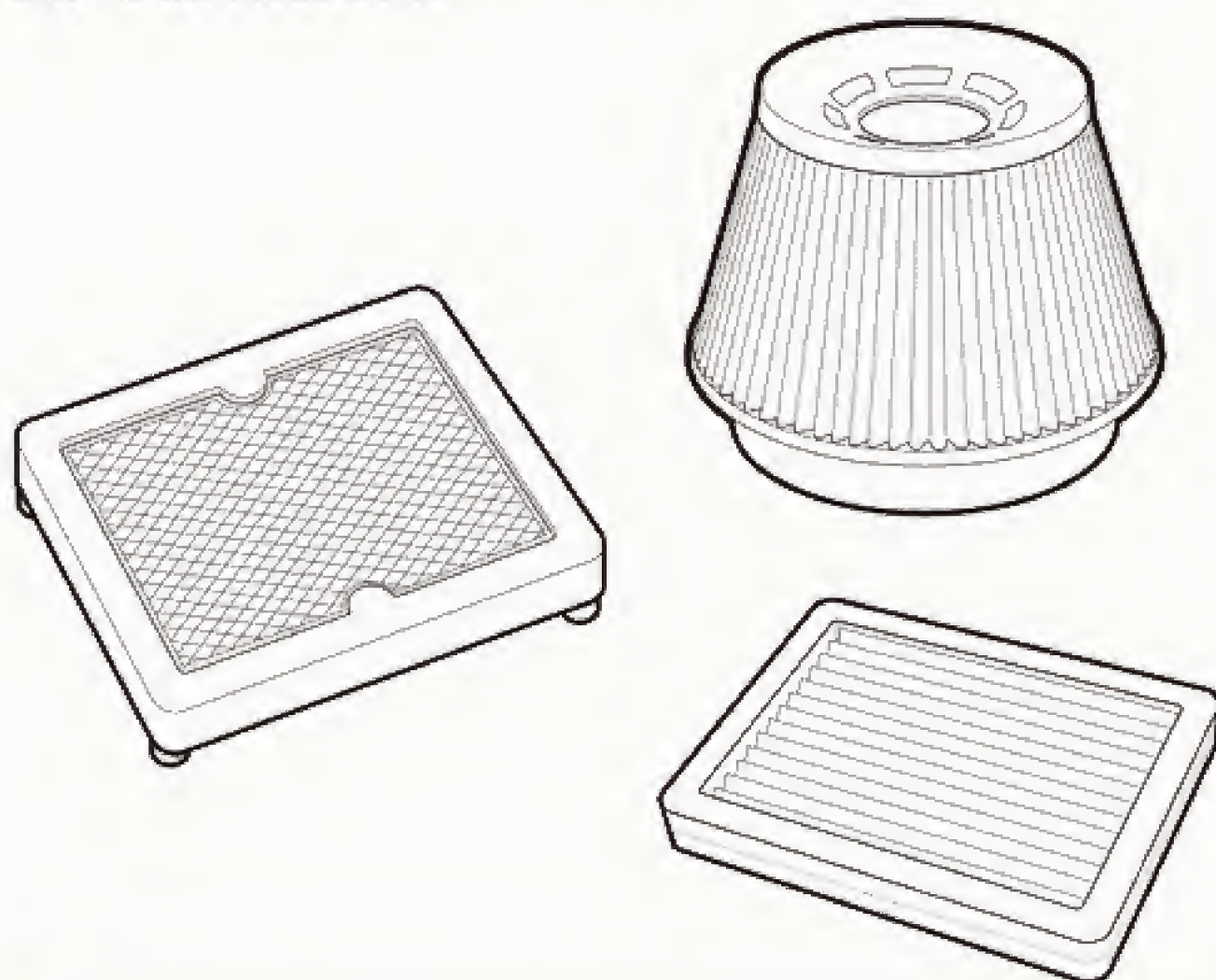
Vela de ignição

Uma vela forte é essencial para haver uma ignição adequada na mistura de combustível e ar na câmara de combustão. Até mesmo um motor não modificado básico, se for operado sob carga alta continuamente com velas de ignição normais, as velas ficaram desgastadas com calor em excesso. Por isso, é especialmente importante atualizar as velas de ignição quando o motor for ajustado para gerar mais potência. O aumento na combustão do motor eleva a temperatura na câmara de combustão, tornando-a mais propensa à combustão anormal (pré-ignição). Para evitar isso, deve-se usar uma vela de ignição mais resistente ao calor com faixa térmica maior.



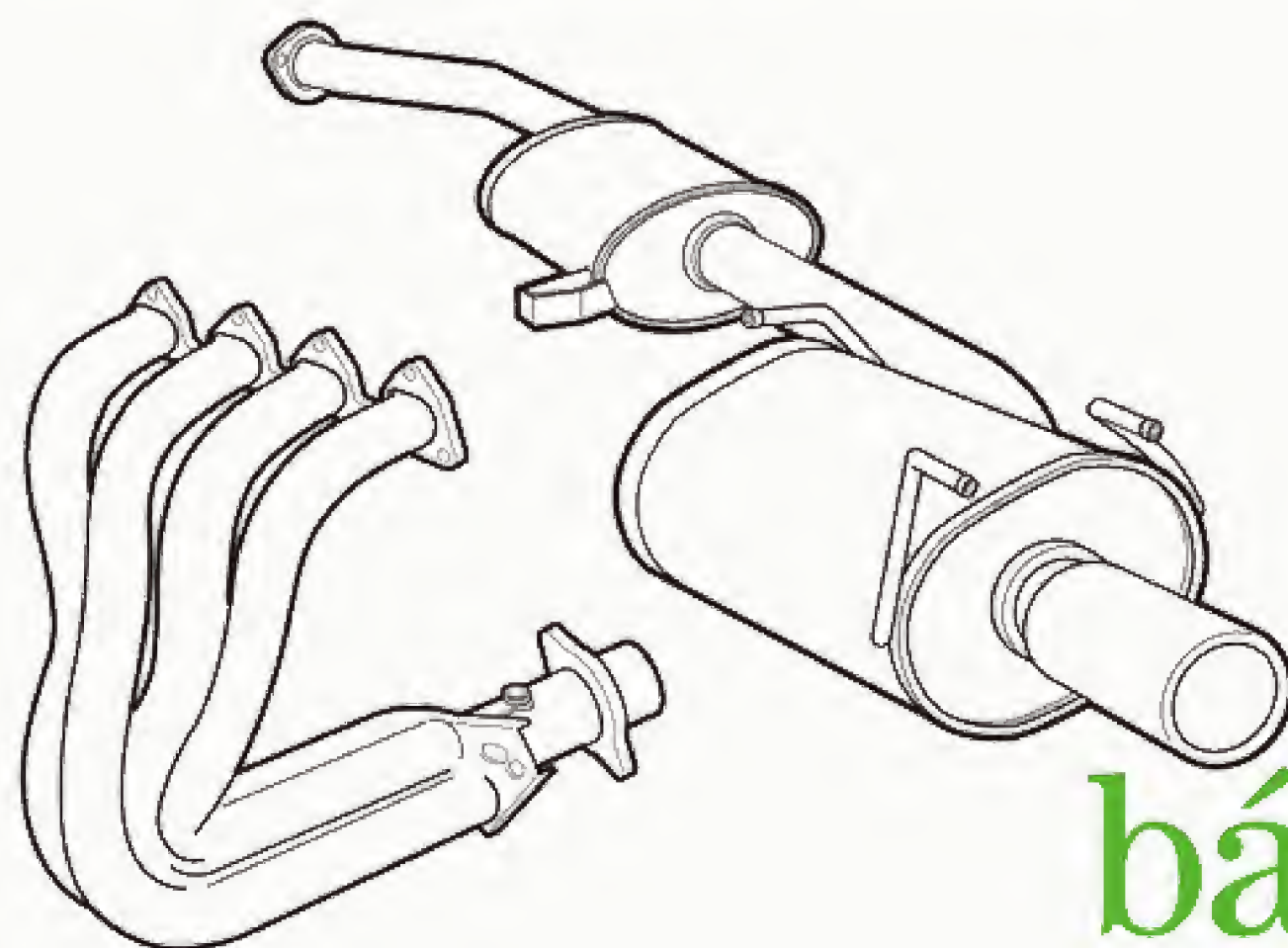
Filtro de ar

O filtro de ar padrão, usado para proteger o motor de poeira e outras impurezas, tem um alto nível de resistência, mas é inferior em termos de geração de potência. Portanto, é preferível trocar para um filtro de ar de baixa resistência, projetado especificamente para corridas. Ao invés de reforçar a potência do motor, isso pode ter mais a ver com aperfeiçoar a retomada durante a aceleração e a reação em alto RPM. No entanto, não se surpreenda quando o som do motor ficar mais alto na admissão de ar.



Sistema de escapamento

Ao reduzir a resistência do escapamento, o motor aumentará suas revoluções mais rapidamente e a resposta do acelerador ficará marcadamente mais precisa. Motores com turbocompressor em especial, que usam a energia de exaustão, podem ter aumentos de potência de 10 a 20% somente com atualizações na surdina. No entanto, lembre-se de que a mudança dos componentes de escapamento afetará as características de torque do motor. Por isso, é sempre importante ter uma ideia nítida do efeito que se está tentando atingir.



Óleo do motor

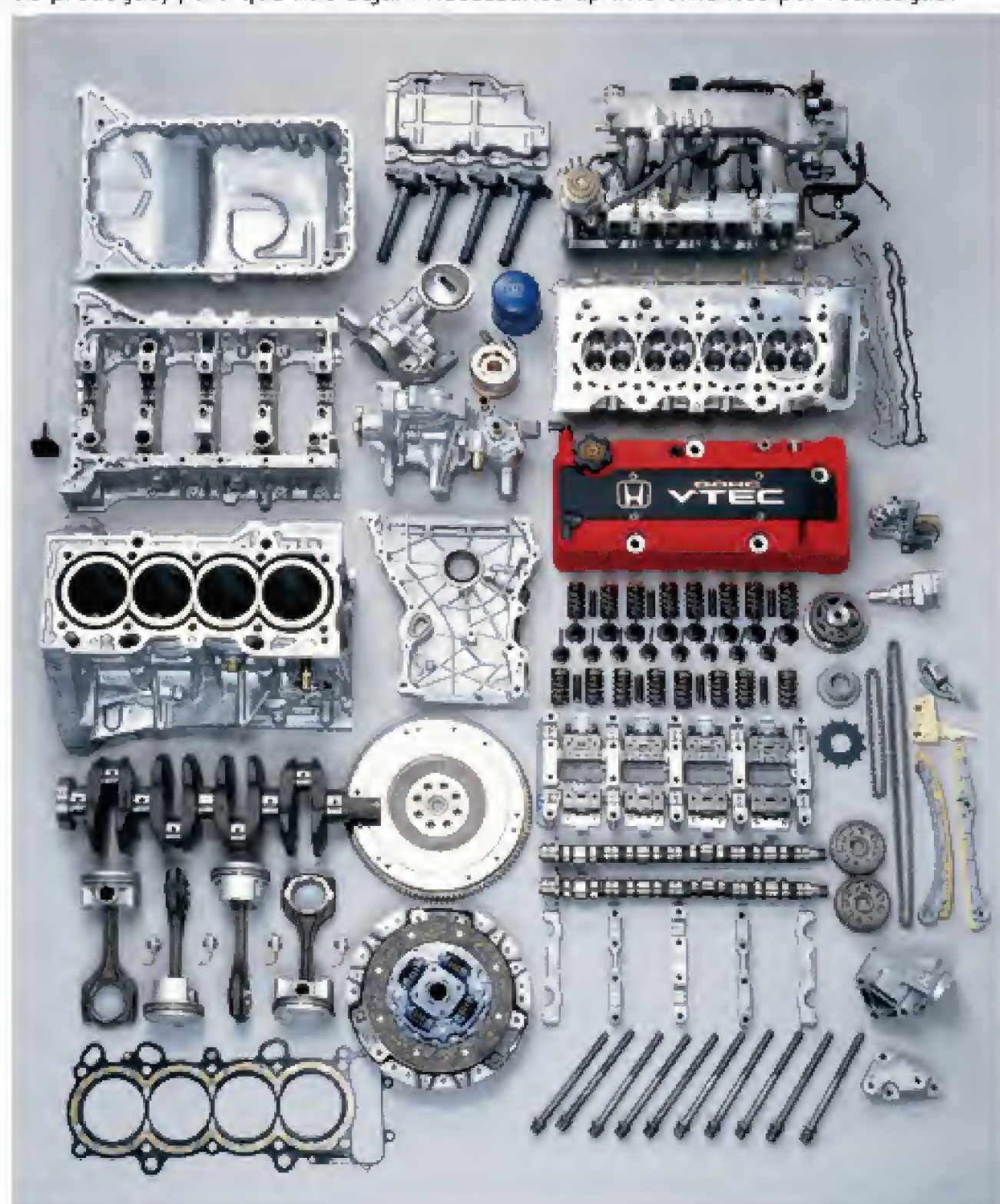
Motores de alta potência colocam enorme tensão sobre os componentes, sobretudo nas peças internas. Por isso, o óleo de alto desempenho é absolutamente fundamental. O óleo do motor funciona como um lubrificante, um agente de refrigeração e uma barreira para manter o estado impermeável. Se o óleo não puder cobrir as superfícies adequadamente, o cilindro não poderá manter a pressão e o motor perderá potência. A perda de lubrificação entre peças de metal em rápido movimento também pode resultar na quebra ou no derretimento das peças. A viscosidade também é um fator importante, que pode aumentar a perda de atrito (potência perdida por excesso de atrito). Os óleos de baixa viscosidade sintetizados quimicamente, que mantêm o desempenho mesmo em condições operacionais desafiadoras, são hoje amplamente usados.

Conceitos básicos do ajuste

Retificação do motor

Não se pode dizer que os motores produzidos em massa tenham uma precisão perfeita em sua montagem, havendo casos nos quais eles não demonstram o desempenho de seu potencial total. A desmontagem total do motor até seus menores componentes e sua reconstrução do zero com precisão absoluta podem aumentar o desempenho geral do motor. Ao retificar o motor desta forma, é possível reforçar ainda mais suas capacidades por meio da substituição de certas peças por alternativas mais leves, e balancear várias peças para aumentar o efeito. Se você não está restringido por limites na cilindrada do motor, também pode usar essa oportunidade para aumentar a capacidade de cilindrada do motor, melhorando ainda mais a potência e o torque, sem estresse.

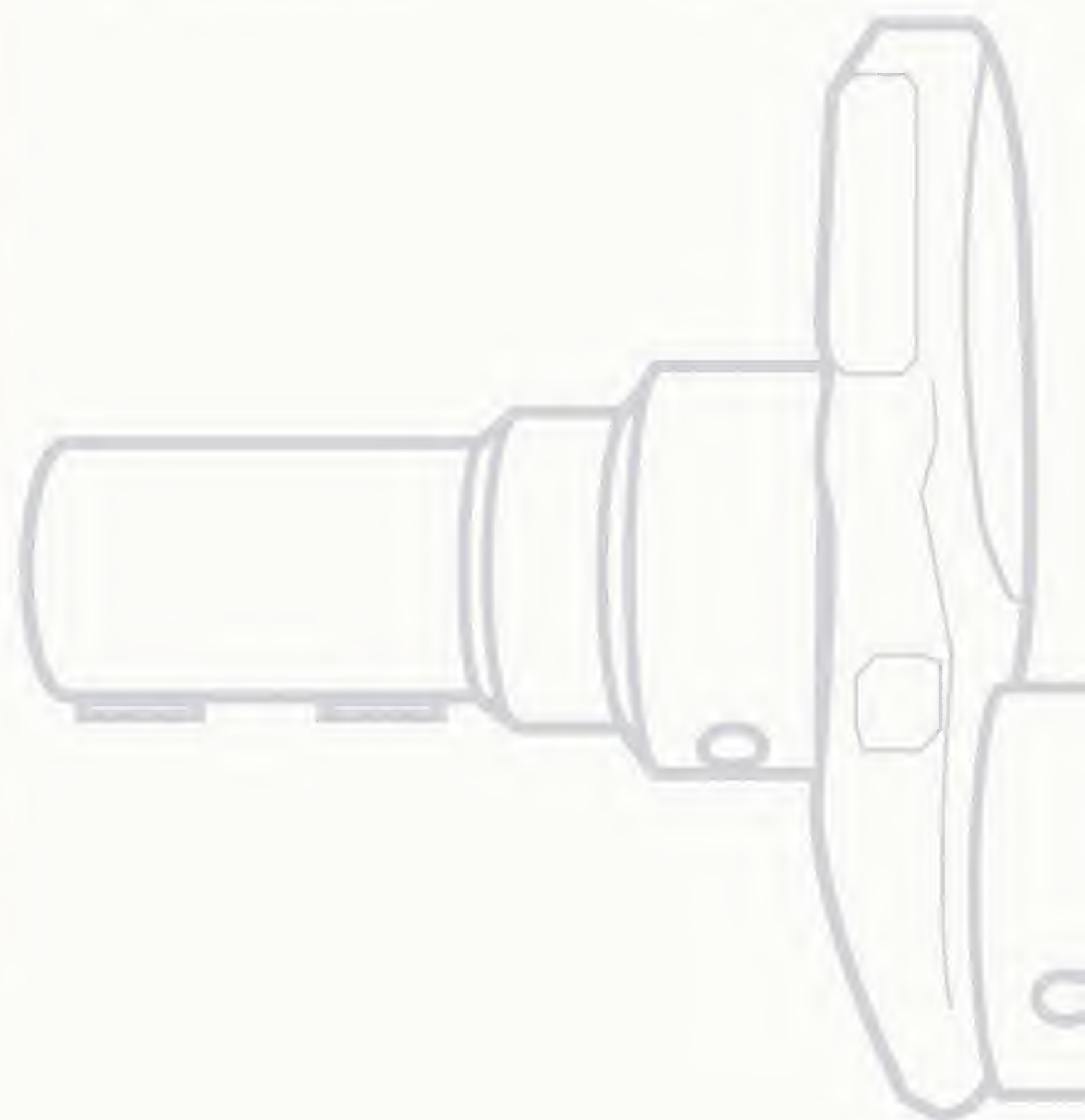
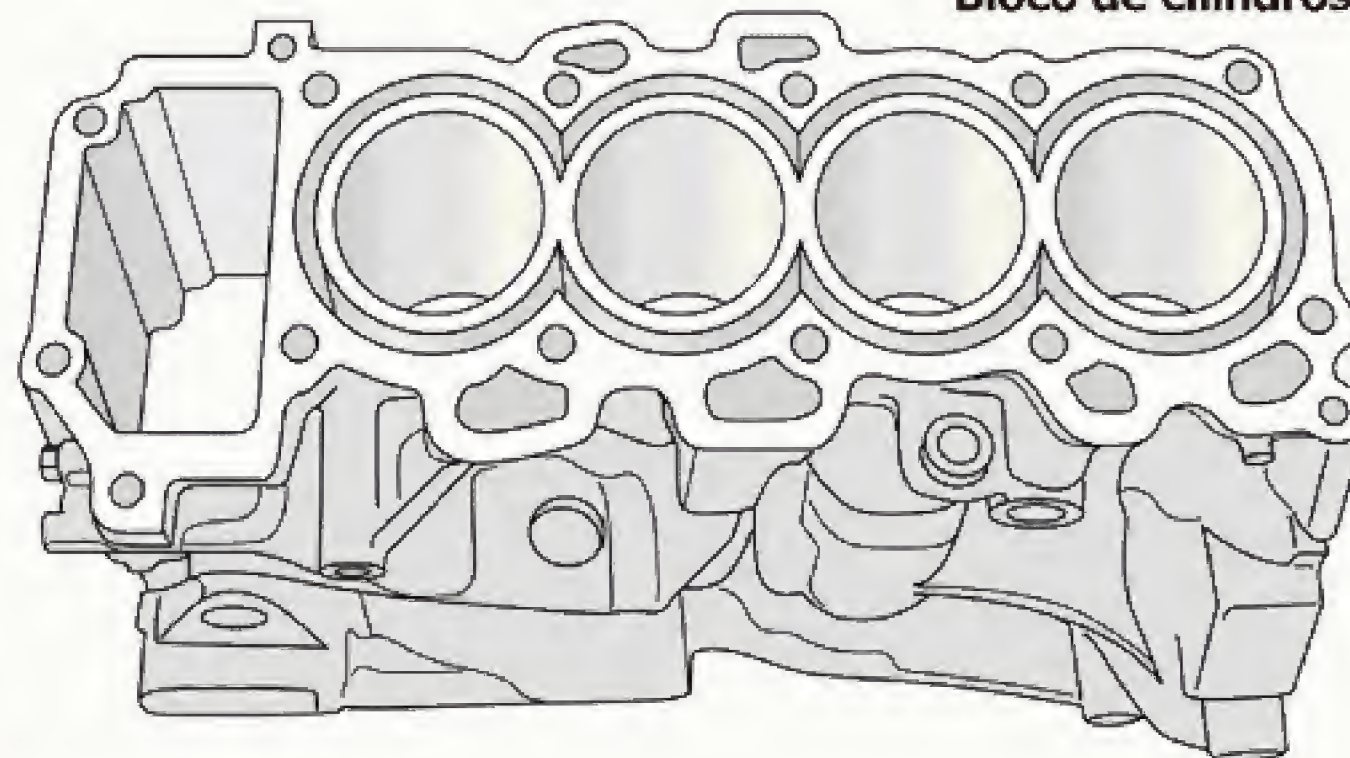
Alguns motores modernos são equilibrados com muita precisão ao saírem da linha de produção, para que não sejam necessários aprimoramentos por retificação.



Aumento de cilindrada

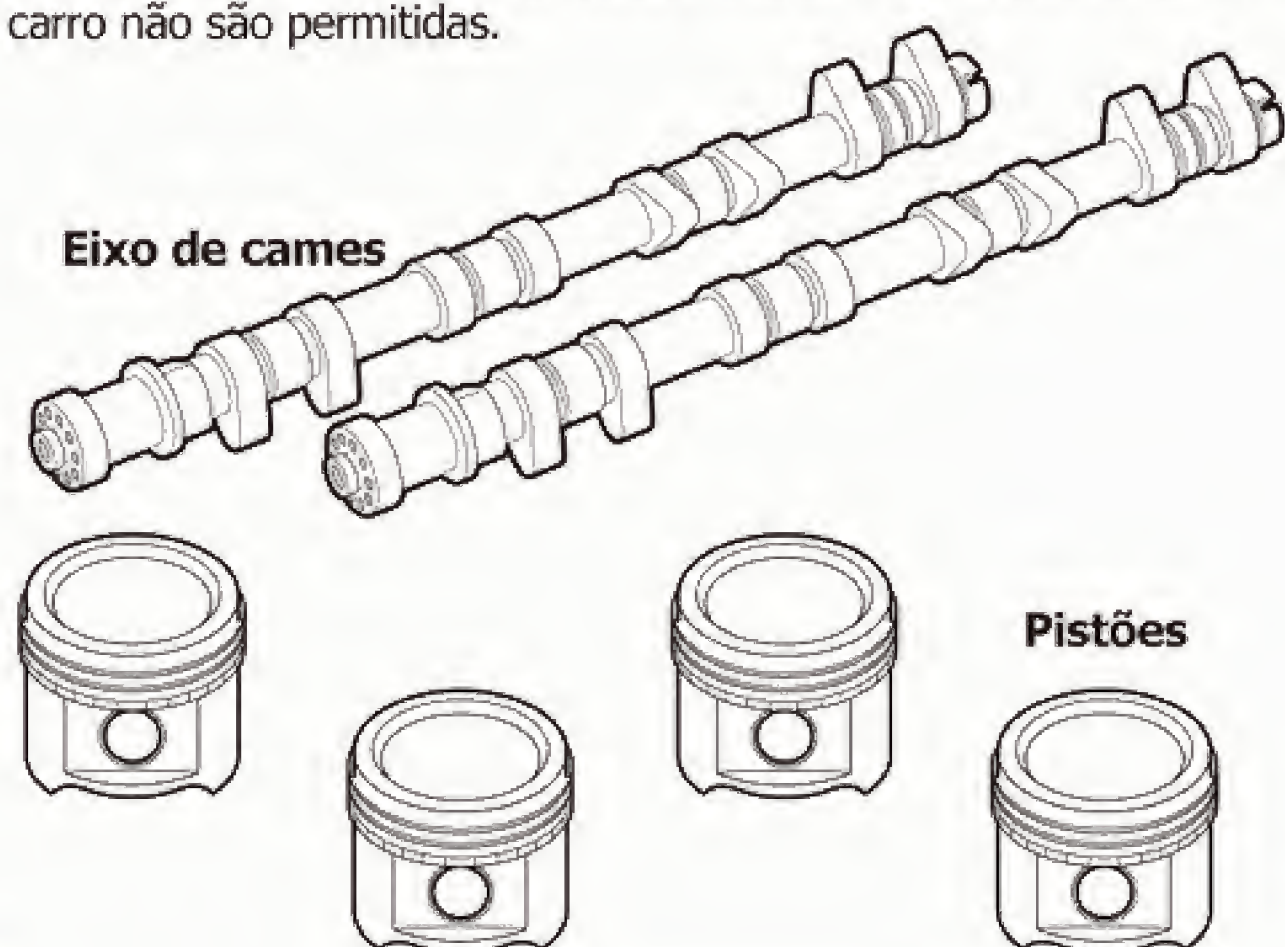
Essa é a forma mais eficaz de melhorar o desempenho ao modificar o próprio motor. Aumentando a quantidade de mistura de ar e combustível queimado, pode-se incrementar a potência do motor. Isso pode ser alcançado fazendo orifícios no cilindro, tornando o orifício do cilindro maior e instalando pistões de diâmetro maior, ou aumentando o curso, tornando o curso dos pistões mais longos substituindo o virabrequim e as bielas. Embora eles tenham o efeito de aumentar as especificações de cilindrada do motor, cada um tem características diferentes. O aumento do diâmetro é mais adequado para aumentar o RPM do motor e gerar mais potência, enquanto o aumento do curso aumenta o torque em revoluções baixas e médias. No entanto, à medida que os motores modernos ficaram mais leves, os blocos de cilindros se tornaram mais finos, dificultando cada vez mais o aumento do diâmetro dos cilindros e dos pistões.

Bloco de cilindros



Balanceamento

Em um motor normal, o peso dos pistões e das bielas em cada cilindro tem uma leve variação. Além disso, desvios no equilíbrio rotacional do virabrequim podem causar resistência, que é uma das principais causas de perda de potência. Balancear o motor envolve desmontá-lo e pesar cuidadosamente cada componente. Tornando o peso de cada peça uniforme e corrigindo o equilíbrio rotacional para aperfeiçoar o movimento do virabrequim, pode-se permitir que ele opere com mais suavidade e, assim, mais eficientemente, para produzir mais potência. Em situações nas quais a modificação de uma peça para a correção do desequilíbrio do peso não é suficiente, a peça, às vezes, é totalmente substituída. Esse tipo de ajuste é absolutamente essencial em corridas de marca única, nas quais modificações significativas a um carro não são permitidas.

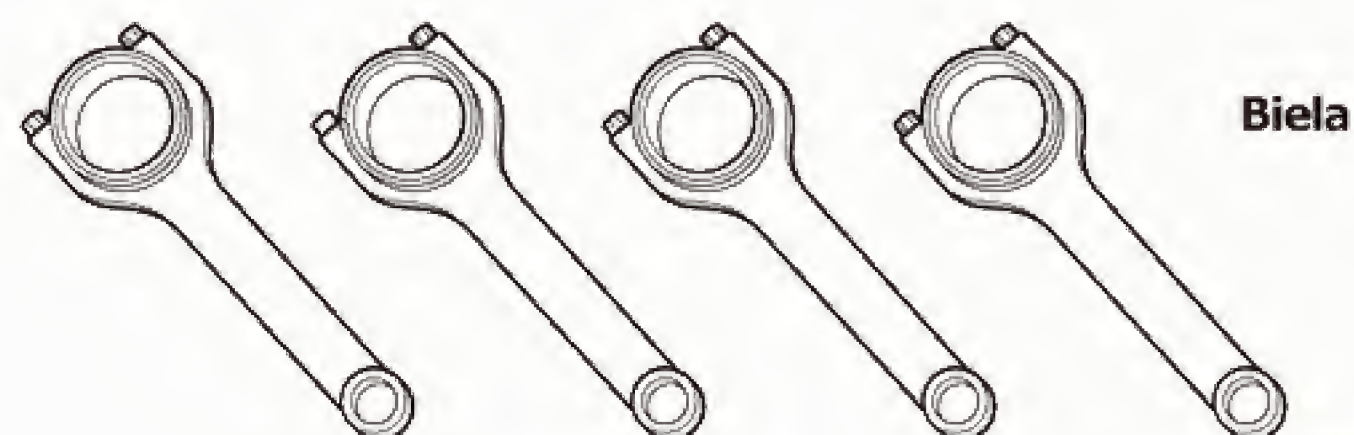


Redução de peso

As peças do motor que se movem em alta velocidade são influenciadas pela inércia, causando perda de atrito e redução da potência. Isso pode ser aliviado com a remoção de material das peças para torná-las mais leves. Isso normalmente é feito juntamente com o balanceamento, mas se as peças estiverem muito desgastadas, podem ter problemas de durabilidade.

Reforço

Quando um trabalho de ajuste de grande porte é realizado em um motor, a tensão sobre cada peça individual aumenta muito e há maior risco de danificar as peças. Isso torna fundamental ter peças mais resistentes, mas também é essencial que tais peças sejam leves. Peças reforçadas que utilizam novas técnicas de forja, bem como novos materiais, como ligas de titânio, combinam uma leveza que supera em muito as peças comuns de motor em termos de resistência e durabilidade. Em corridas e na realização de ajuste de motores, o uso de pistões forjados de alumínio e bielas de liga de titânio se tornou prática comum.



Liberaando todo o potencial do carro

Aumento do RPM

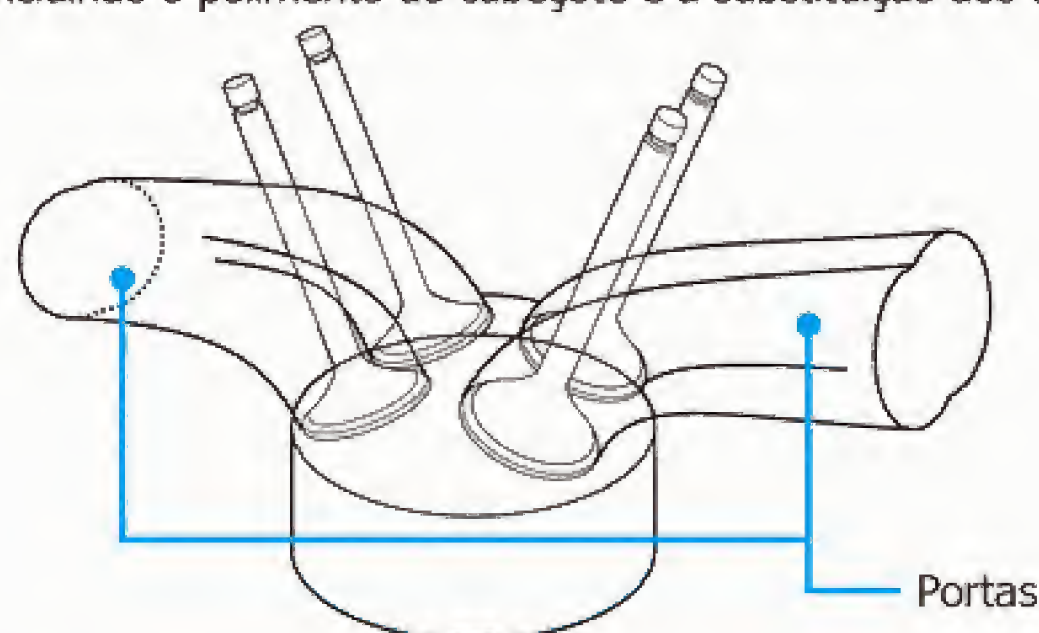
A potência do motor é uma combinação de torque e revoluções do motor (potência = torque x RPM). Isso significa que quanto maior a capacidade de o motor atingir alto RPM, maior a potência. O ajuste necessário para possibilitar isso está centrado nos cabeçotes do cilindro, e a chave para o sucesso está no aumento da eficiência da entrada e da saída de ar em alta revolução. A forma padrão de atingir isso é substituindo o came regular por um eixo de cames de alta suspensão. Embora isso signifique que os componentes em torno das válvulas precisem ser reforçados, o efeito obtido é igual ao de aumentar o tamanho das portas de aspiração e exaustão, melhorando significativamente a potência em alta revolução. Casualmente, os motores mais adequados a RPM altos são motores de curso curto, pois a eficiência do fluxo de ar é alta, mas a velocidade dos pistões não é tão alta quanto a velocidade de motores de curso longo.



Você pode melhorar a capacidade do motor em atingir alto RPM e produzir alta potência em um único curso trocando para um eixo de cames de alta suspensão. No entanto, isso reduzirá significativamente o torque em revoluções médias e baixas, e alguns motores de corrida puros talvez nem mesmo consigam operar em marcha lenta suavemente.

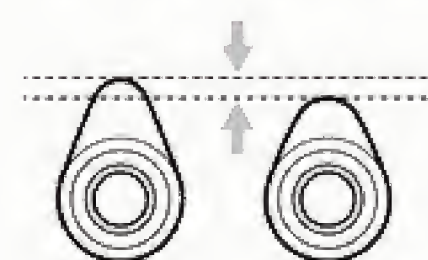
Portas

As portas de aspiração e exaustão permitem a entrada da mistura de ar e combustível no motor e a saída dos gases residuais após a combustão. Idealmente, o fluxo pelas portas deve ser o mais uniforme possível, mas devido a questões de custo, esse não costuma ser o caso para o motor médio. Característica de superfícies ásperas de metais fundidos, irregularidades no tamanho das aberturas, distorção etc. são fatores que podem causar a resistência de admissão e exaustão. O polimento dessas superfícies até a obtenção de um brilho semelhante a um espelho pode gerar um fluxo de ar mais uniforme. O polimento da porta em si já melhorará a sensação do motor na faixa de alto RPM, mas você provavelmente não sentirá todos os seus benefícios a menos que combine o polimento com um ajuste completo do cabeçote do cilindro, incluindo o polimento do cabeçote e a substituição dos cames.



Eixo de cames

O eixo de cames é o eixo que abre e fecha as válvulas de aspiração e exaustão. Um eixo de cames de alta suspensão tem seções de came mais elevadas ao longo de seu comprimento, fazendo com que as válvulas fiquem abertas por mais tempo. Com efeito, isso oferece o mesmo benefício do aumento de tamanho das portas e, ao mesmo tempo em que reduz o torque em rotações baixas e médias, aumenta significativamente a potência do motor em altas rotações. Enquanto a súbita elevação da potência em RPM maior sem dúvida torne o carro difícil de controlar, é uma técnica geralmente usada quando se tenta obter potência extra de um motor de aspiração natural.



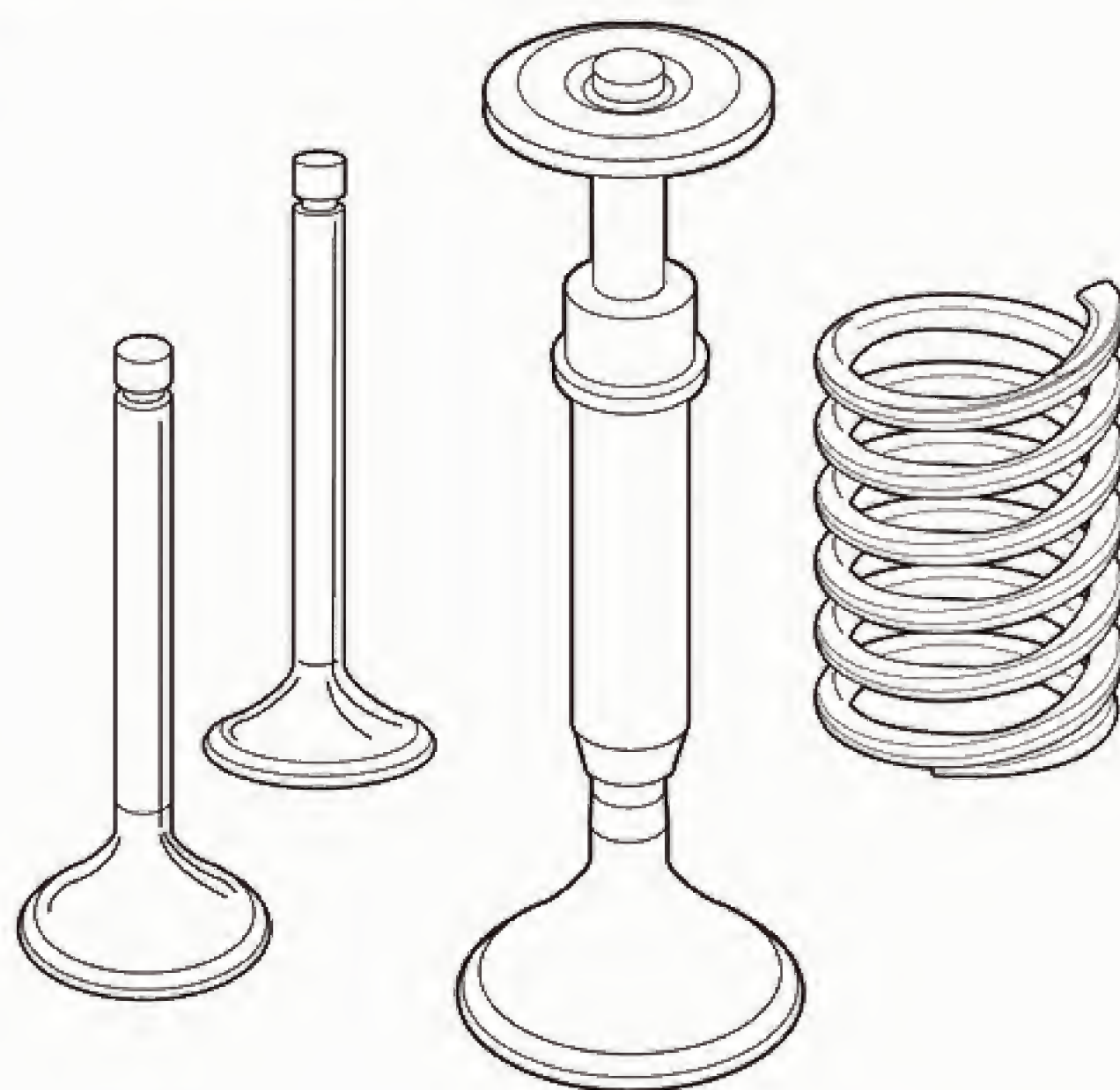
Um came normal à direita comparado a um came de alta elevação à esquerda. As seções elevadas fazem com que as válvulas se abram por mais tempo

Válvulas

Enquanto faz o polimento das portas e a substituição dos cames, você também deve cogitar o aumento do tamanho das válvulas. Esse é um método de ajuste que aumenta a abertura da válvula de admissão para permitir mais indução e aumentar a eficiência de admissão. Como válvulas maiores pesam mais e são afetadas por mais inércia, elas geralmente são feitas de titânio ultraleve.

Mola da válvula

Altas rotações no motor podem causar vibração nas molas que mantêm as válvulas fechadas, levando a "sobretensão", em que a expansão e a contração das molas não conseguem acompanhar o ritmo do movimento do eixo de cames. Em um motor que foi ajustado para obter mais potência, uma atualização nas molas das válvulas é importante para evitar isso. A necessidade é ainda maior quando se usa um came de alta elevação, pois as molas normais talvez não consigam lidar com a maior elevação da válvula e, em casos extremos, a mola pode aderir ao came e bloqueá-lo ou a válvula e o pistão podem colidir entre si. Porém, leve em consideração que a utilização de molas fortes aumenta a resistência e causa mais desgaste na área em torno das válvulas.



Aumento do RPM para melhorar a potência

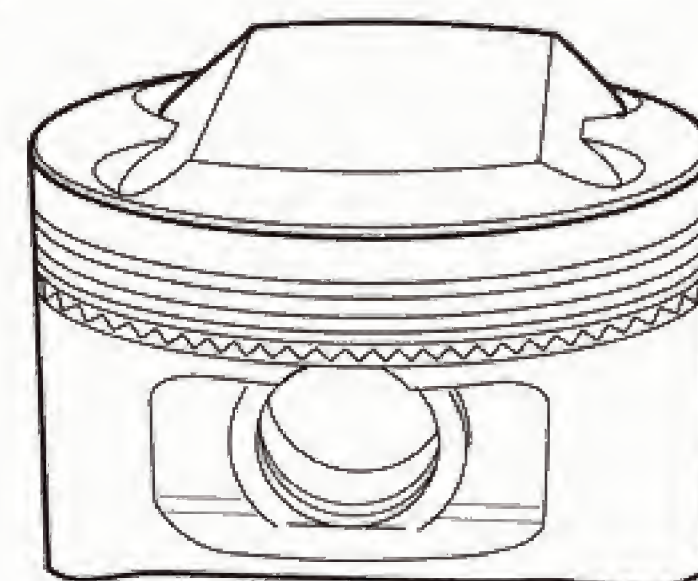
Melhorando a compressão

Quanto maior o grau em que o motor pode comprimir a mistura de ar-combustível, mais potente será a combustão que ocorrerá quando o combustível for inflamado, e maior serão a potência e o torque gerados. A principal parte desse ajuste envolve reprojeter a capacidade da câmara de combustão no cabeçote do cilindro. No entanto, se a compressão for elevada em excesso, isso aumentará a resistência quando o motor estiver fazendo curvas (compressão), e pode também levar à combustão anormal. Motores de alta compressão exigem vários ajustes para combater esses problemas, como ajustar a quantidade de combustível que entra no cilindro, trocar para velas de ignição “frias” para retardar a ignição e reforçar os pistões e as bielas para lidar com o maior poder de combustão do motor.

A maior compressão deve ocorrer idealmente em conjunto com um aumento do RPM potencial do motor. Além disso, como a combustão envolverá mais força, o interior do motor precisa ser reforçado

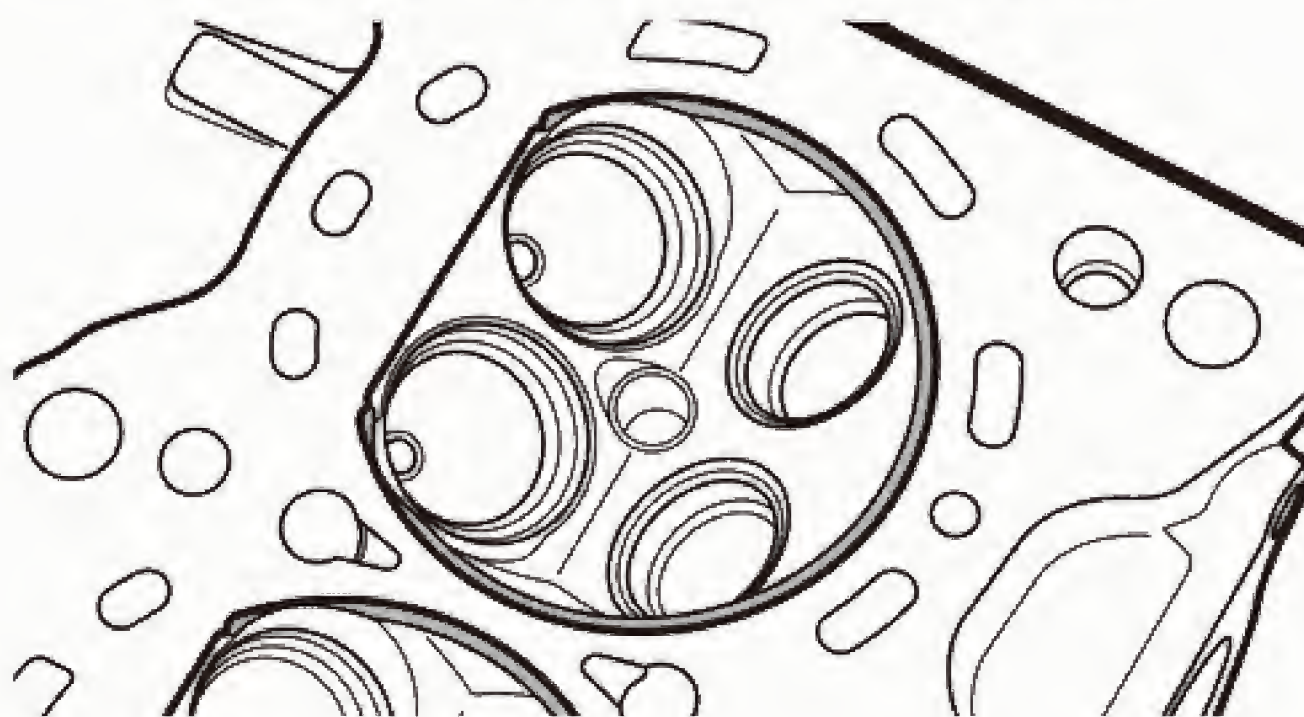
Pistões

A maneira mais comum de aumentar a taxa de compressão do motor é adotar pistões de alta compressão. Como se pode ver na parte superior elevada desses pistões, a câmara de combustão é menor do que a de um pistão regular, resultando em um aumento na taxa de compressão. Porém, a maior compressão leva a uma mistura de ar e combustível mais quente e a temperaturas mais elevadas durante a combustão, aumentando a probabilidade de ocorrer ruídos no motor (combustão incorreta da mistura de ar-combustível). Isso gera a necessidade de adotar medidas como a melhoria do fluxo da mistura de ar-combustível.



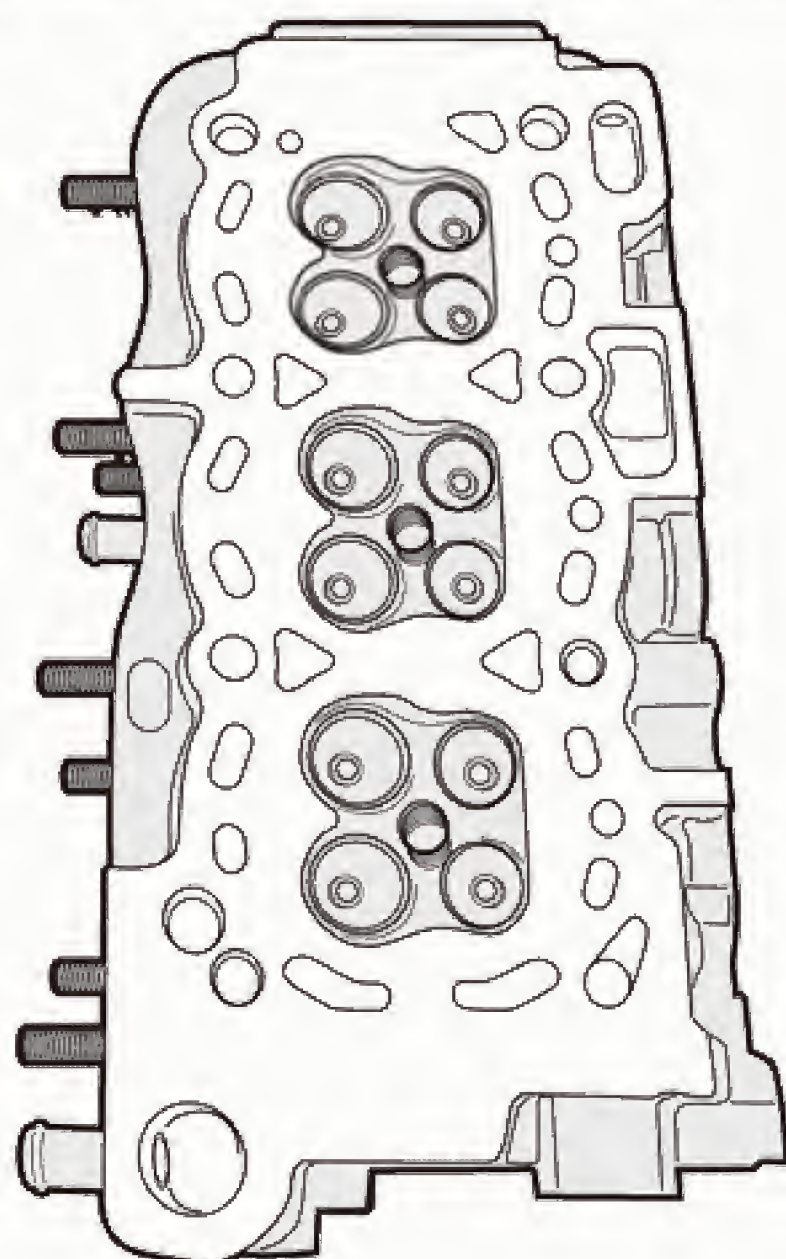
Câmara de combustão

Existem várias técnicas de modificação de câmaras de combustão, uma das mais importantes é o tipo "penta", que é superior em fluxo de ar e eficiência de ignição. No entanto, o método mais comum para evitar a combustão anormal de alta compressão envolve o uso de zonas de "squish" ou "resfriamento". Essas áreas são cortadas na câmara de combustão onde se concentra a compressão, servindo para reduzir um pouco a taxa de compressão total. No entanto, lembre-se de que a criação de áreas de squish pode criar discrepâncias nos volumes de câmaras de combustão individuais, por isso é necessário realizar uma medição precisa da câmara de combustão posteriormente, para se certificar de que está equilibrada.



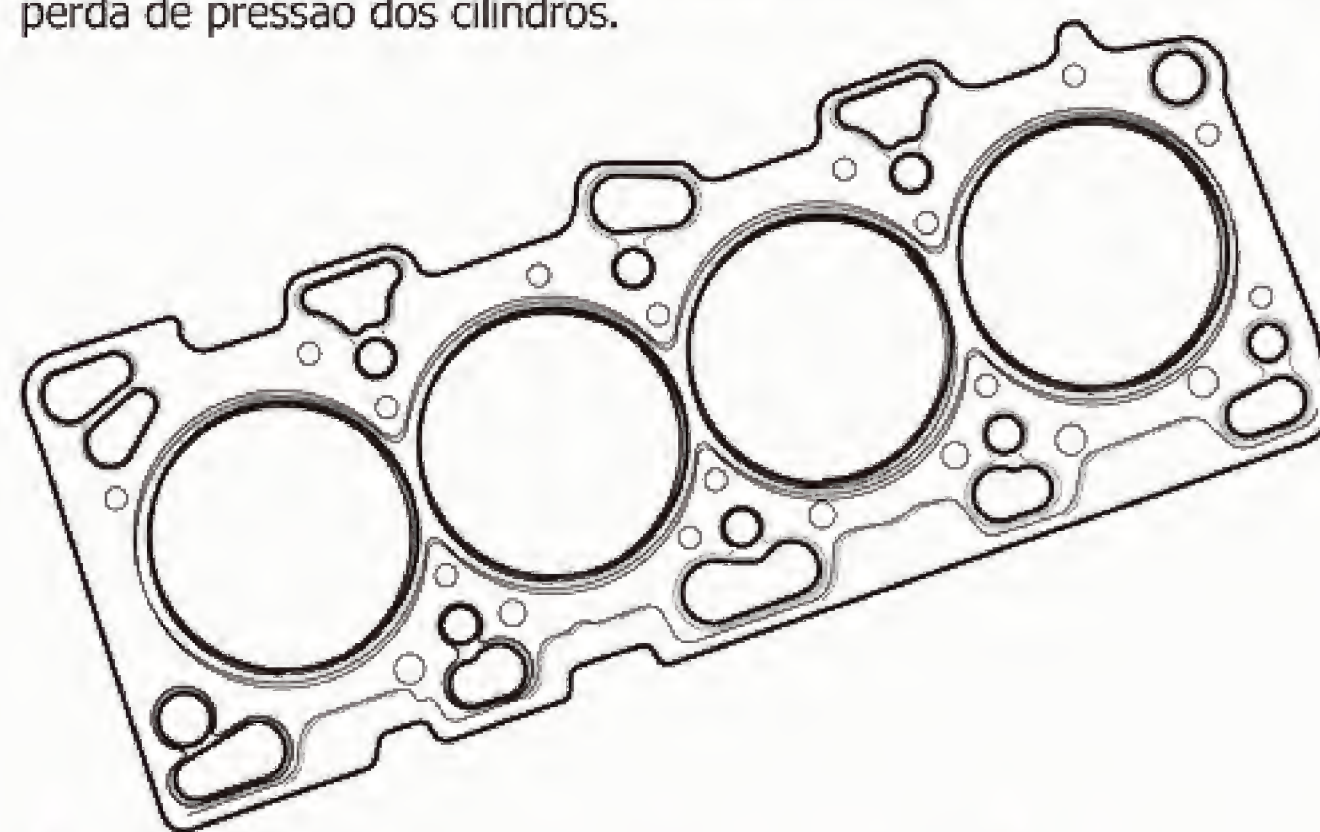
Cabeçote do cilindro

A parte de baixo do cabeçote pode ser desgastada em incrementos de 0,1 mm para reduzir gradualmente a capacidade da câmara de combustão, aumentando a taxa de compressão. Isso também pode ser realizado para corrigir deformações que possam ter ocorrido ao operar em temperaturas extremamente altas, restaurando o ajuste entre o bloco de cilindros e o cabeçote e remediando qualquer problema de perda de compressão.



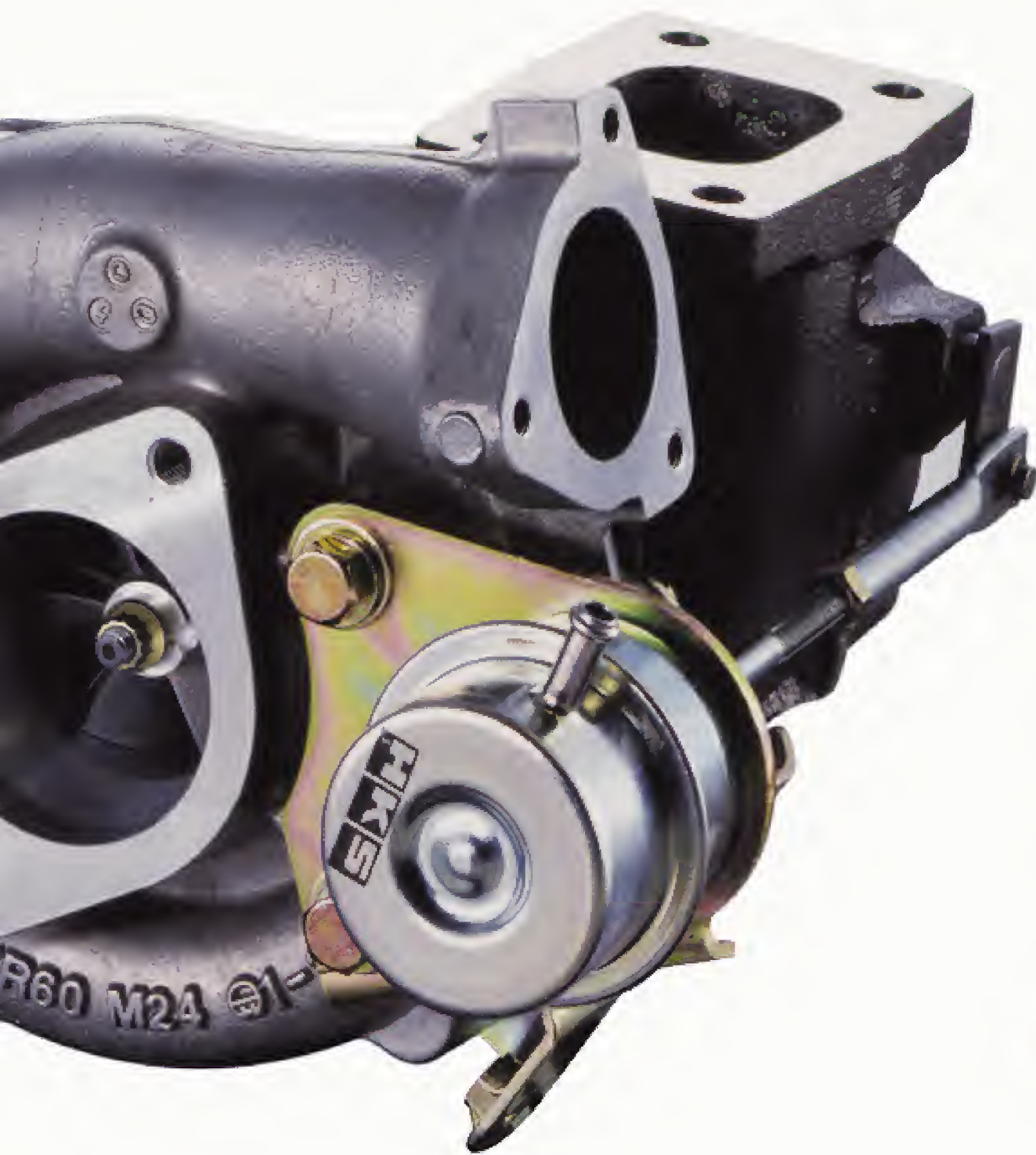
Gaxeta do cabeçote

A gaxeta do cabeçote é a placa que se encontra entre o bloco de cilindros e o cabeçote, garantindo uma boa vedação entre os dois e evitando a perda de compressão. A redução da espessura da gaxeta do cabeçote tem o mesmo efeito que o desgaste do cabeçote, uma vez que serve para reduzir a capacidade da câmara de combustão, aumentando a taxa de compressão. As gaxetas do cabeçote agora são geralmente feitas de aço inoxidável, que tem alta resistência e níveis elevados de condutividade térmica. Isso permite que os níveis de compressão sejam otimizados, evitando perda de pressão dos cilindros.



Aumentando a potência de Potência

Fornecendo uma quantidade grande de ar comprimido

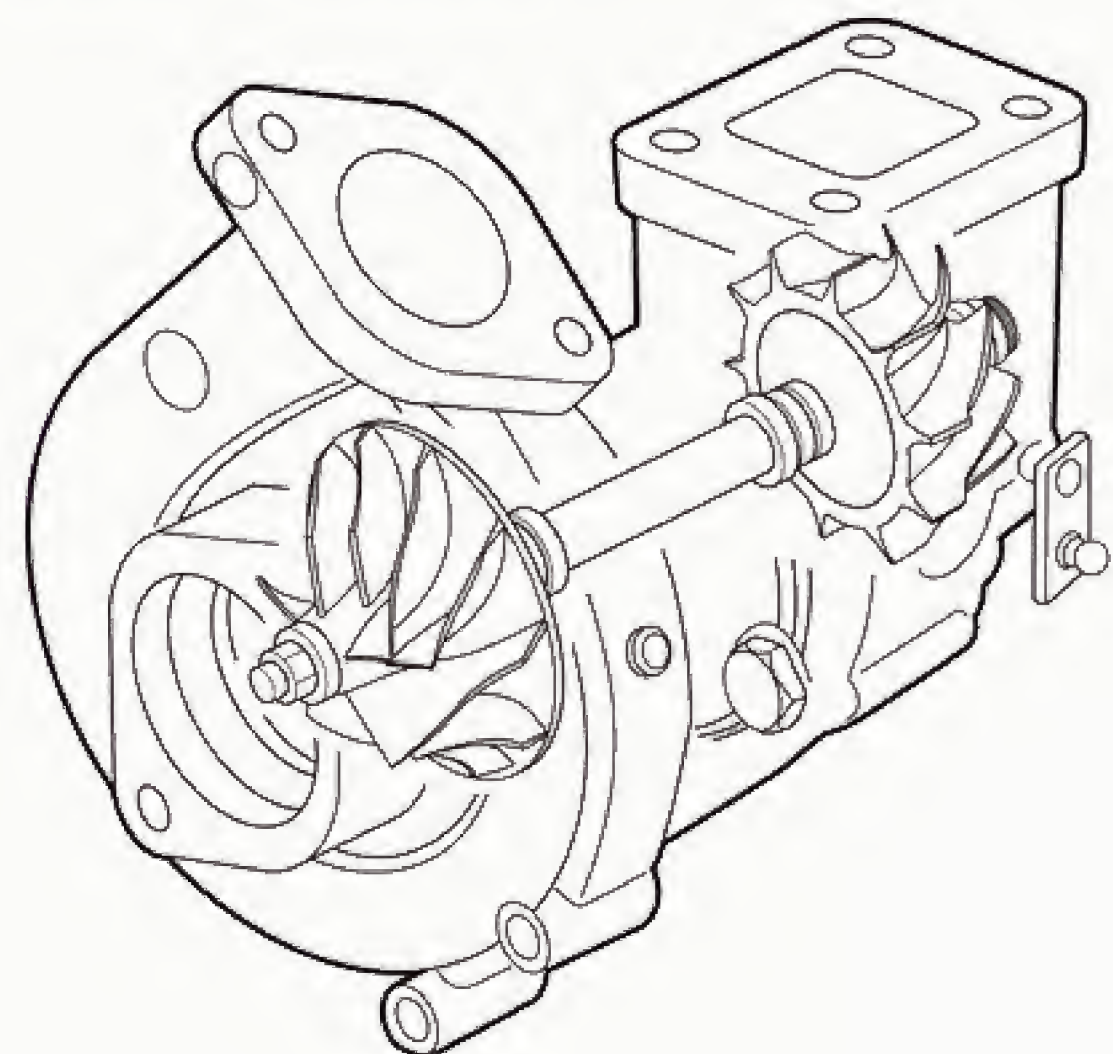


Pressão de admissão

A pressão de admissão é um número que indica o volume de ar que entra em um turbocompressor e a compressão sofrida, sendo expressa em unidades de kg/cm^2 , kPa ou psi. Quanto maior esse número, mais potência se obtém. No entanto, quanto maior a entrada de ar, mais combustível é necessário para se misturar a ele, o que significa que a UCM deve ser configurada para adicionar mais combustível, e pode ser necessário alterar ou adicionar injetores de combustível, para que o combustível possa ser distribuído em quantidades maiores. Também é fundamental reforçar as partes internas do motor para lidar com a tensão causada pela combustão aumentada.

Turbina de alto fluxo

Este é um turbo no qual o tamanho da roda do compressor que comprime o ar que entra no turbocompressor é aumentado, aumentando significativamente o fluxo de ar. Um processo conhecido como "redução" pode ser usado para reduzir a inércia que atua sobre a roda da turbina, permitindo que o turbo seja aplicado com mais rapidez. Isso possibilita aumentar a potência com um sacrifício mínimo da reação.

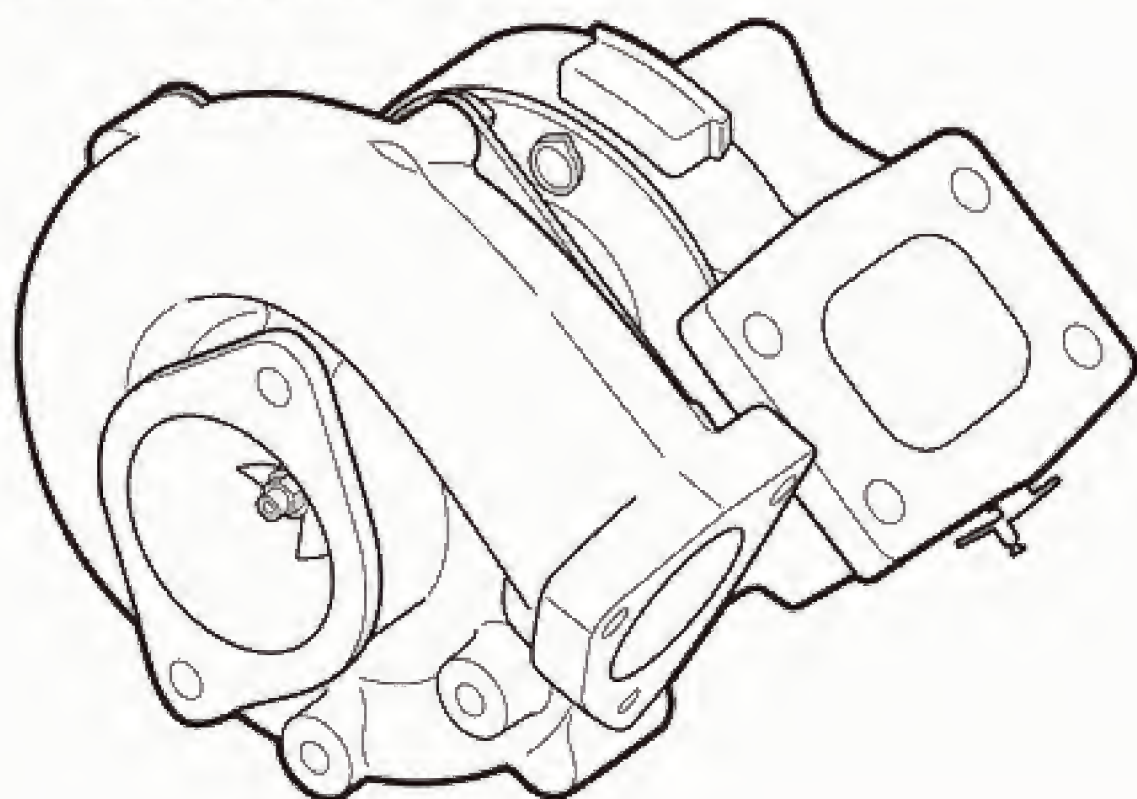


Dispositivos de indução forçada

O aumento da pressão de admissão e do tamanho do dispositivo de indução forçada é uma maneira relativamente fácil de obter o mesmo efeito que o aumento das especificações de cilindrada do motor sem a necessidade de realização de ajustes do motor. Se você optar por combinar isso com o ajuste mecânico, pode atingir resultados ainda melhores. Porém, é importante lembrar que a indução forçada aumenta a tensão no motor muito mais que motores aspirados naturalmente, sendo necessárias medidas para isso. Em um motor de aspiração natural, uma taxa de compressão alta é essencial para alimentar o motor, mas em um motor com supercompressor ou turbocompressor, a compressão precisa ser baixada para evitar a combustão anormal de combustível ou danos às peças causados pela maior combustão. Um atraso na resposta também é um problema para motores com turbocompressor, sendo necessário tomar medidas para que a reação do motor não seja afetada de forma crítica.

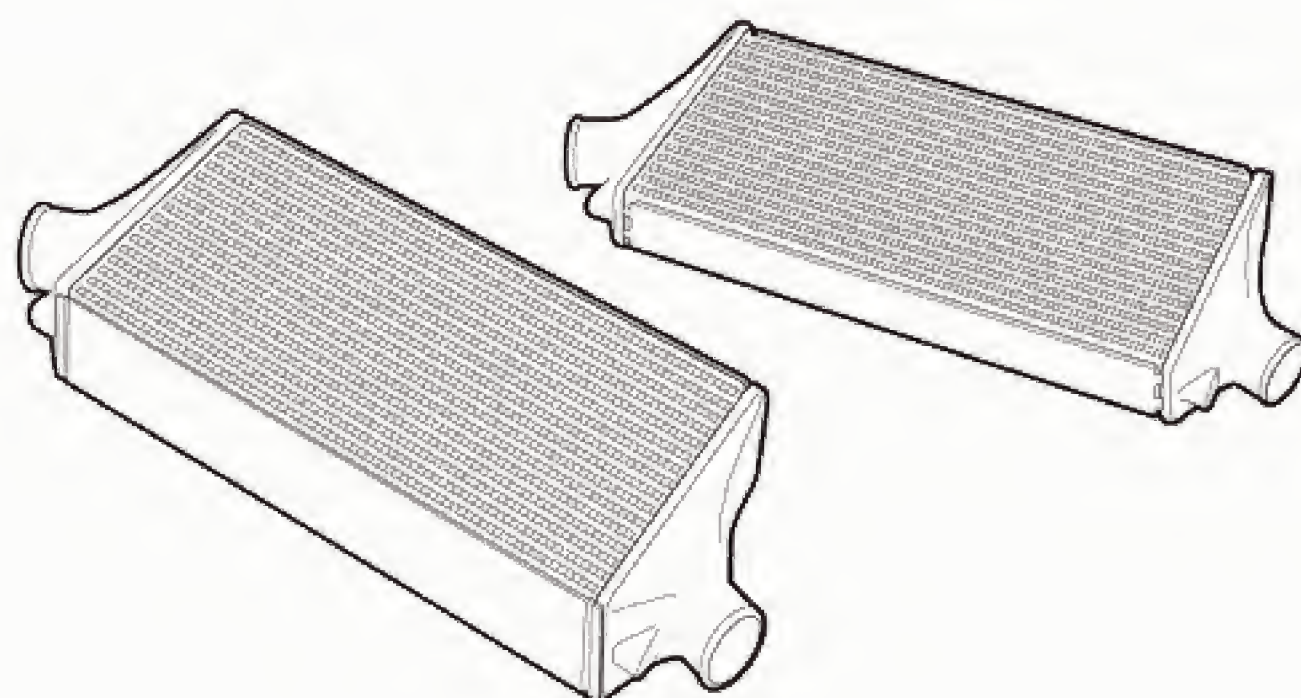
Aumento do tamanho da turbina

Isso envolve a substituição do turbocompressor regular por um maior, pois o tamanho do turbocompressor é o que determina os limites da potência de uma turbina. Embora isso gere um aumento óbvio na potência, tem uma desvantagem, já que o giro de uma turbina maior leva a uma resposta mais lenta do motor. E é preciso saber que, a menos que você tenha um motor de alta cilindrada gerando uma grande quantidade de exaustão, e/ou um motor potente o suficiente, o torque em baixas revoluções será muito lento e o turbocompressor só será eficiente em RPM muito alto, tornando o carro extremamente difícil de controlar.



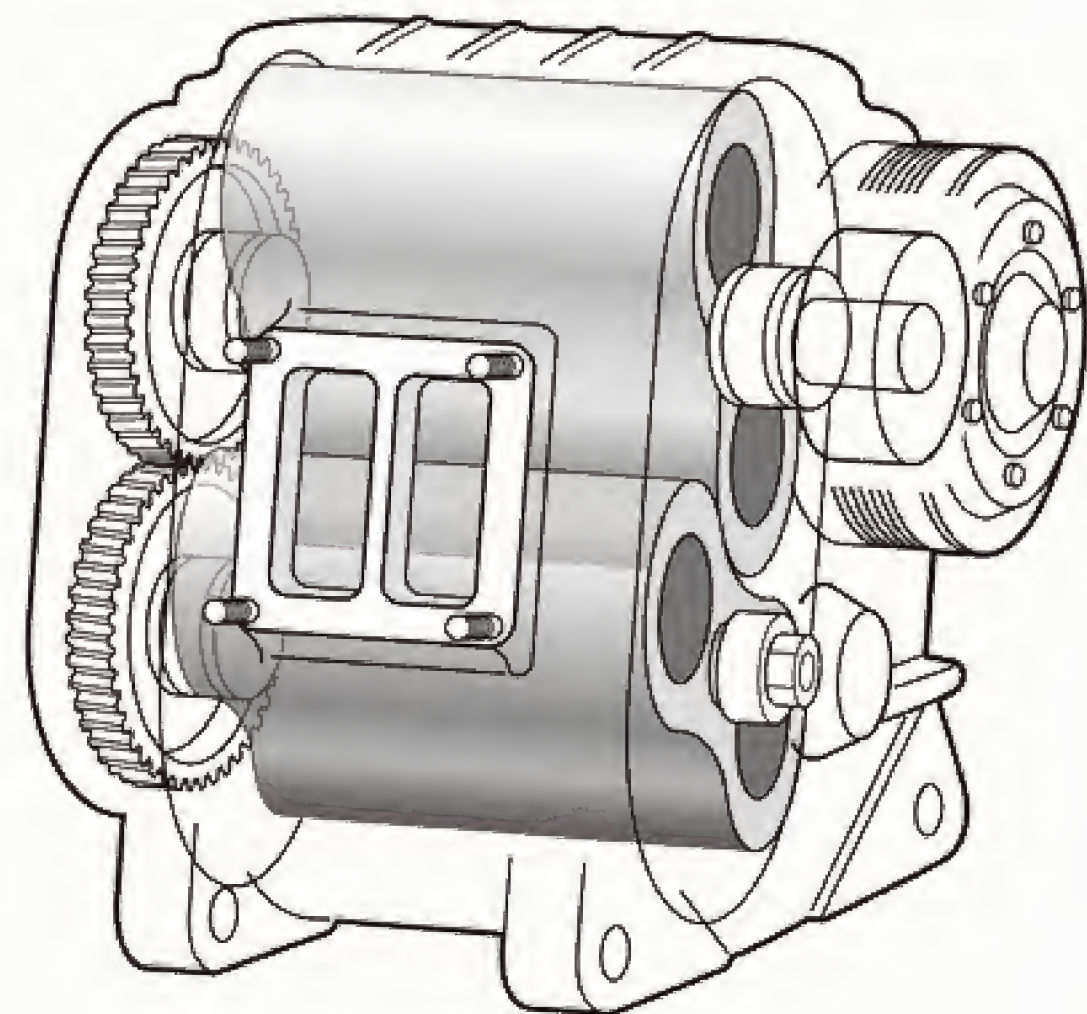
Intercooler

O intercooler exerce uma função importante em um motor com turbocompressor, servindo para resfriar o ar aquecido pela compressão do turbocompressor e melhorar a eficiência volumétrica do motor. Os intercoolers são instalados como padrão mesmo em muitos veículos de produção, mas o aumento do tamanho deles melhora a eficácia e a capacidade de refrigeração. No entanto, o ar comprimido leva muito tempo para viajar por um intercooler muito grande e começa a perder pressão. Isso pode causar uma perda da pressão de admissão entre 10 e 20% em alguns casos.



Supercompressor

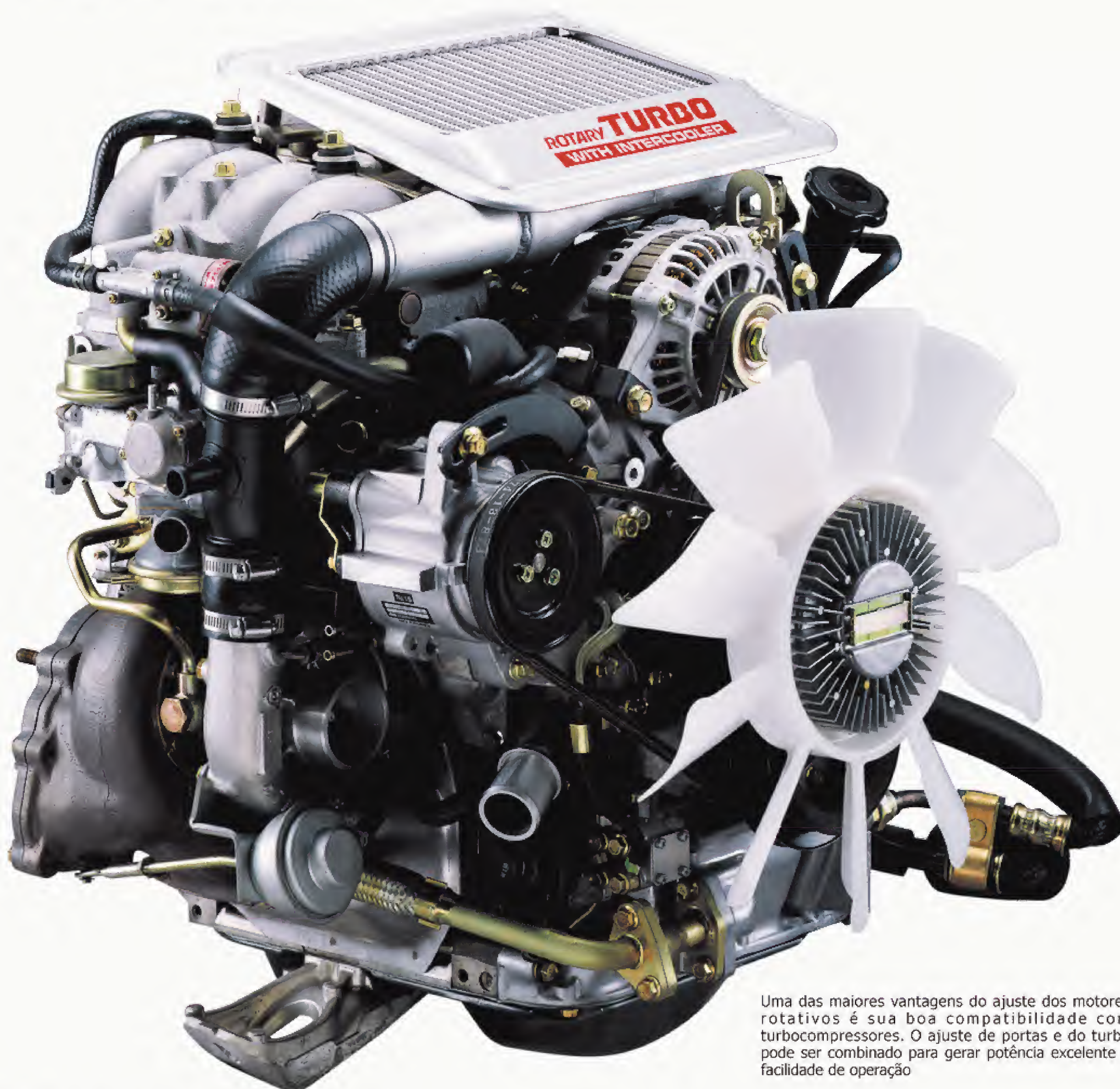
O princípio por trás do supercompressor é semelhante ao do turbocompressor: basicamente, ele força o ar comprimido dentro do motor, gerando um aumento de potência. Assim como ocorre com os turbocompressores, eles podem ser aparafusados a motores naturalmente aspirados, sendo uma forma relativamente fácil de aumentar a potência. Como supercompressores não ocasionam atraso na resposta do acelerador, eles são especialmente úteis em pistas de corrida técnicas que exigem respostas rápidas.



Motores rotativos

Um dos principais objetivos ao ajustar um motor rotativo é aumentar a eficiência da entrada de ar. Isso é obtido ampliando as portas de admissão, fornecendo mais mistura de ar e combustível à câmara de combustão. Esse efeito é semelhante ao obtido com a colocação de um eixo de cames de alta suspensão em um motor de movimento alternado, mas a natureza do aumento de potência ganha com a troca de lugar e o aumento das portas pode ter uma grande diferença. Por exemplo, o uso de portas periféricas, uma técnica usada

em carros competitivos com motor rotativo, causa uma perda enorme de torque em baixas revoluções e torna a direção normal extremamente difícil. Além disso, em motores rotativos, as portas de exaustão e o turbocompressor estão muito próximos, permitindo que os gases de exaustão girem a turbina de forma muito eficiente. Combinando o ajuste das portas e do turbo, é possível aperfeiçoar o potencial deste motor de forma efetiva.



Uma das maiores vantagens do ajuste dos motores rotativos é sua boa compatibilidade com turbocompressores. O ajuste de portas e do turbo pode ser combinado para gerar potência excelente e facilidade de operação

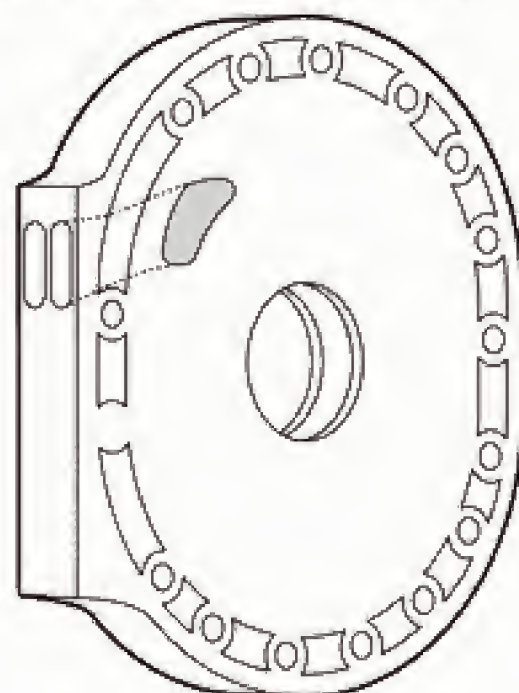
Ajuste de portas: a chave para uma potência rotacional maior

Balanceamento

Se comparado a um motor de movimento alternado, a estrutura do motor rotativo é simples e tem menos componentes. Pode-se liberar muito potencial extra simplesmente melhorando a precisão de cada uma dessas peças e remontando o motor com cuidado. A parte mais importante desse processo é a configuração das vedações. As vedações do canto do rotor correspondem aos anéis do pistão em um motor de movimento alternado, e se puderem ser dispostas de forma que todas tenham exatamente a mesma folga, o rotor virará de modo incrivelmente suave e, ao mesmo tempo, manterá a quantidade perfeita de compressão. Se as vedações forem mal dispostas, pode haver perda de potência e, no pior dos casos, pane no motor.

Orifícios laterais

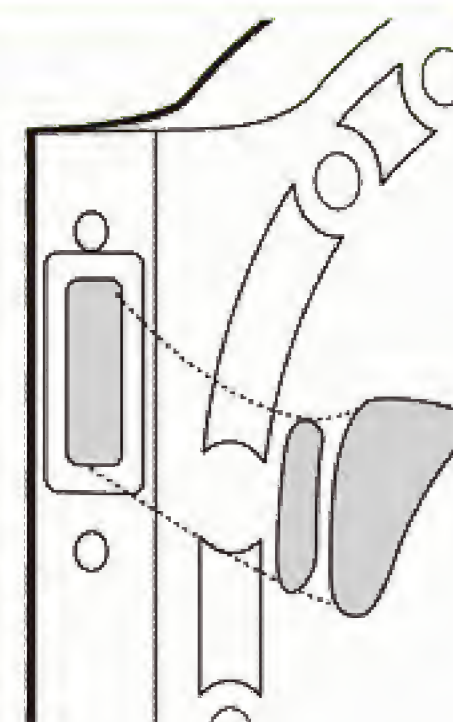
Com a ampliação do diâmetro das portas de admissão posicionadas no suporte lateral do motor, o ar pode ser induzido para o motor a uma temporização mais rápida do que a normal, aumentando o volume total admitido e melhorando a potência. Isso oferece benefícios semelhantes à montagem de um motor de movimento alternado com um eixo de cames de alta suspensão.



Orifícios em ponte

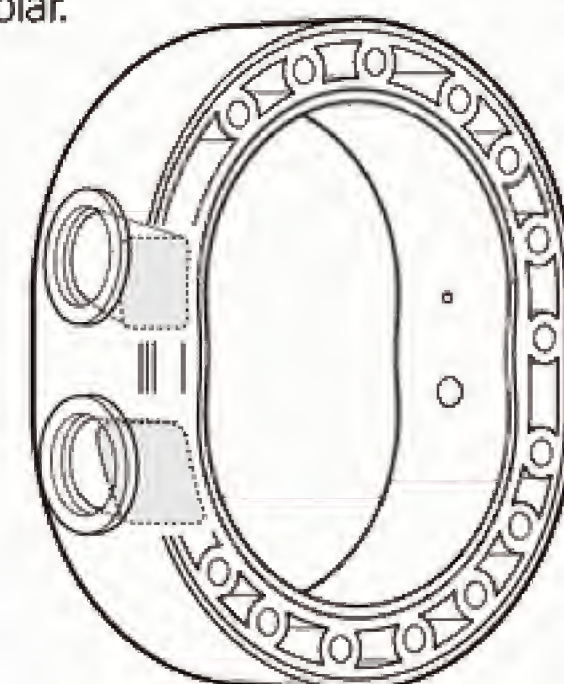
Este é um método de ajustar os orifícios laterais. Ele é chamado de orifício em ponte porque o formato do orifício aumentado tem uma seção em ponte em seu centro.

O motivo para haver esta ponte entre as duas aberturas em vez de somente se fazer uma abertura maior, é que, quando o orifício é aumentado a seu limite, é necessário deixar essa ponte para sustentar a vedação superior, de forma que não deforme nem solte ao passar por esta seção.



Orifícios periféricos

Trata-se de um método de ajuste de motor rotativo usando um adesivo especial para preencher as portas de admissão localizadas no suporte lateral e realocando-as para a parte superior da caixa do rotor. A vantagem disso é que a mistura de ar e combustível é fornecida diretamente à caixa do rotor, aumentando de forma considerável a potência do motor em alta rotação. Infelizmente, também significa que o motor não poderá manter o torque em baixa rotação, devido à perda da capacidade de diferenciar entre alta e baixa velocidade e ajustar a mistura de ar e combustível de modo apropriado. Isso significa que o aumento do desempenho de alto RPM vem às custas de enorme perda de torque em baixa rotação, o que ocasiona características de geração de potência extremas que serão difíceis de controlar.



Portas de combinação

Também conhecido como "cruzamento de portas", essa técnica combina portas laterais (ou portas com ponte) com portas periféricas. Ela se aproveita dos dois tipos de portas usando um sistema sequencial que usa as portas laterais em baixa rotação e as portas periféricas em alta rotação.

Ajuste da transmissão

A transmissão do veículo traduz potência do motor em velocidade. Ela precisa ser o mais eficiente possível na transmissão dessa potência à superfície da estrada e robusta o bastante para lidar com alta potência sem problemas.

Obtendo o melhor desempenho do motor

Relação da última marcha

Alterar a relação da última marcha permitirá que você escolha entre aplicar a potência do motor na velocidade máxima ou na aceleração. Por exemplo, em revoluções altas, o motor de alta produção com uma diferença extrema nas características de alto RPM, você pode facilitar a utilização de seu desempenho definindo a relação final menor. Isso pode aperfeiçoar significativamente a aceleração do carro.

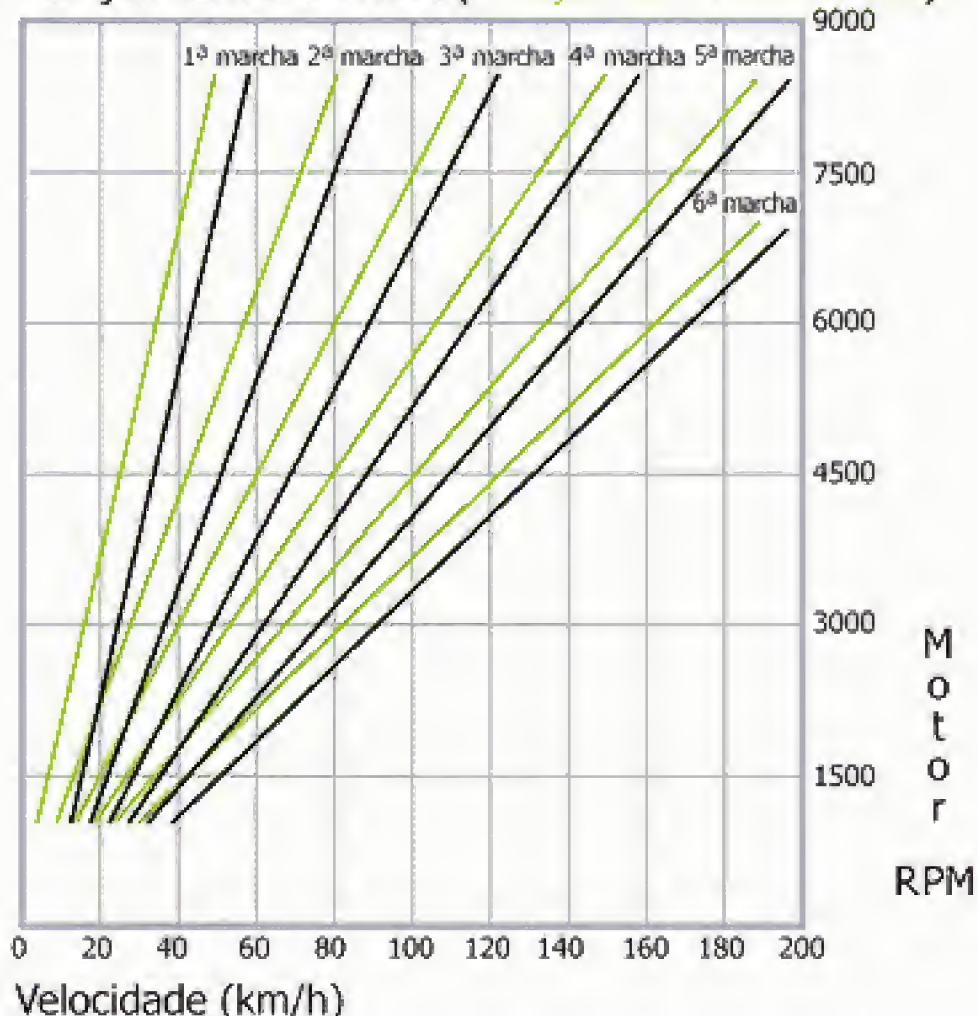
Relação da marcha alta

Esse é um bom tipo de ajuste se o objetivo for aumentar a velocidade máxima do carro, pois melhora a velocidade mesmo em baixo RPM. Também tem vantagens consideráveis em termos de consumo de combustível. A desvantagem é que demora muito mais para que o motor atinja sua faixa de potência/torque, o que torna a aceleração vagarosa. Pode ser difícil alcançar a potência e o torque desejados na saída de curvas fechadas, e será mais difícil retomar a aceleração adequada.

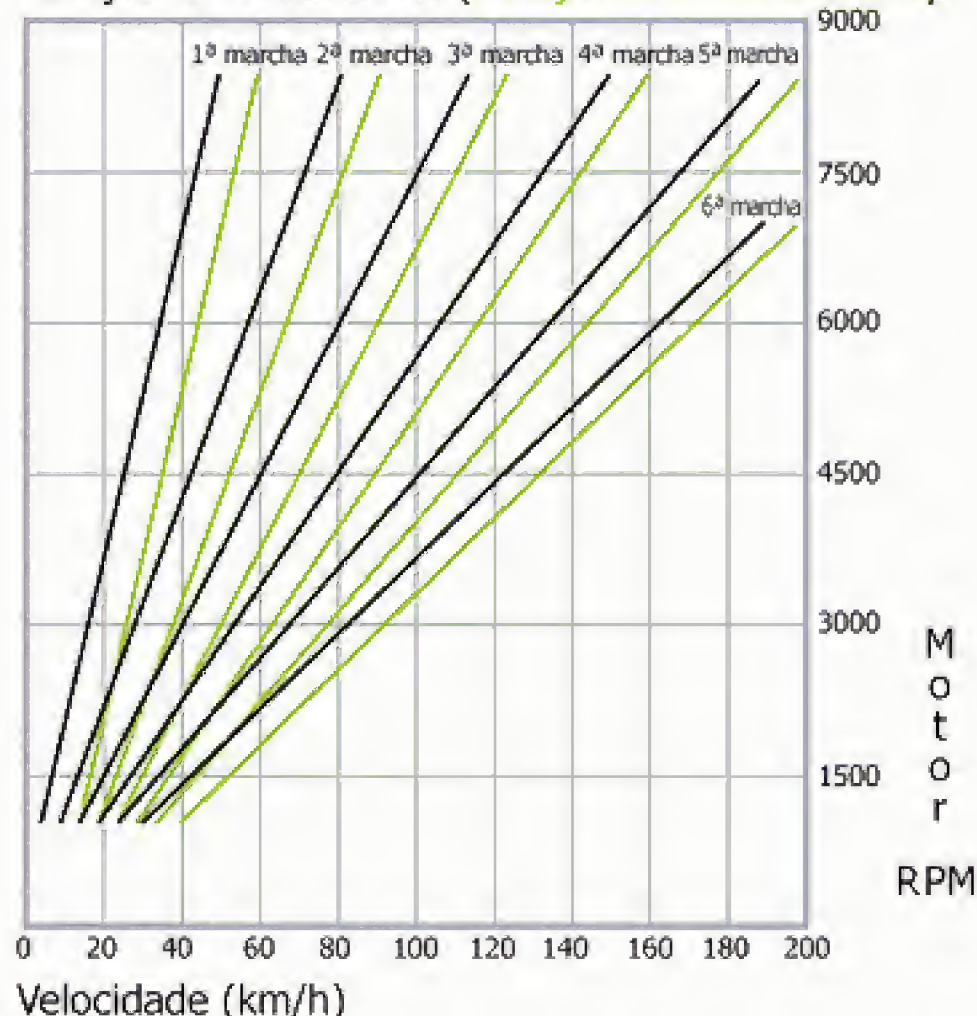
Relação da marcha baixa

Com uma relação da marcha baixa, o motor pode suportar altas rotações mesmo em marchas altas, como a 3ª e a 4ª. Enquanto a velocidade máxima será sacrificada, isso facilitará a produção de potência e torque e aumentará a aceleração. Você poderá aproveitar por completo o desempenho do motor ao acelerar saindo de curvas, o que torna relações de marchas baixas especialmente adequadas para percursos técnicos com muitas curvas fechadas. A única desvantagem é a tendência à alta rotação devido ao aumento da resposta do pedal do acelerador.

Relação da marcha alta (Relação da marcha baixa)



Relação da marcha alta (Relação da marcha baixa)





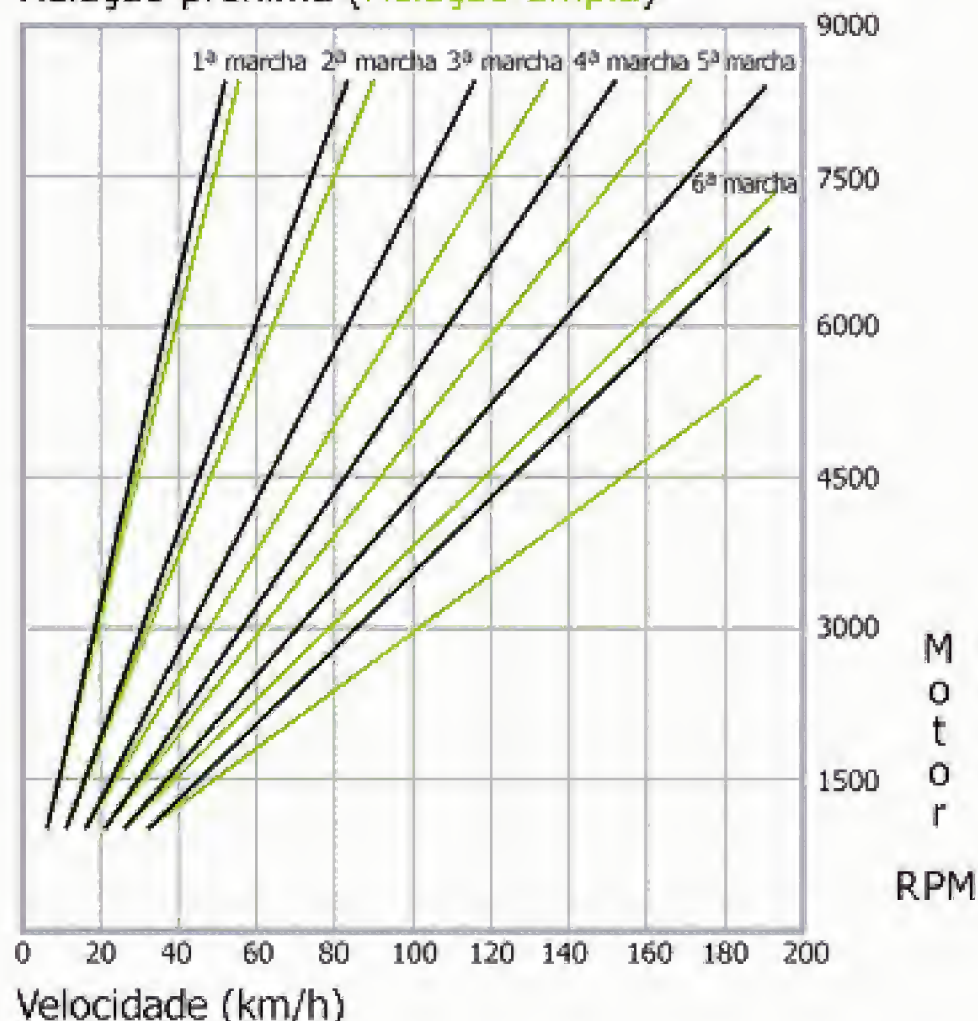
Relação de marchas da transmissão

O ajuste da transmissão geralmente se refere à aproximação da relação entre as marchas da transmissão (isto é, tornar o tamanho delas mais semelhante para criar uma "relação próxima"). Isso facilita permanecer dentro da potência e também melhora muito o desempenho da aceleração. No entanto, dependendo da relação da última marcha, o carro pode ficar mais propenso a revoluções excessivas, exigindo a mudança frequente de marchas.

Relação próxima

Uma transmissão manual com uma relação de transmissão próxima significa que a diferença de tamanho entre as marchas é relativamente pequena. Quanto mais próxima a relação, menor é a perda em RPM na troca de marchas, e a potência do motor pode ser usada com mais eficiência. Essa transmissão é particularmente adequada a motores naturalmente aspirados cujas potências foram reduzidas pela troca de um came de alta elevação ou por outros ajustes. Isso geralmente é configurado de acordo com o layout da pista, juntamente com a seleção da relação da última marcha.

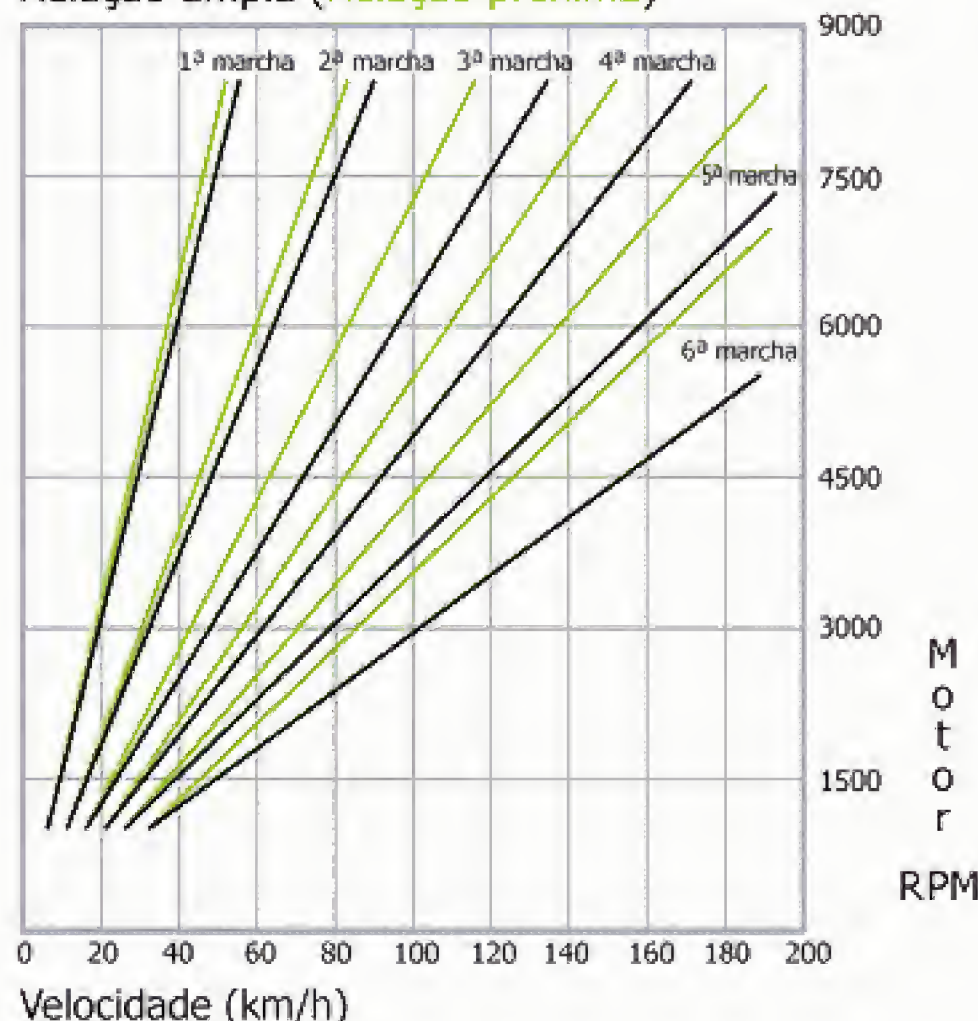
Relação próxima (Relação ampla)



Relação ampla

A maioria dos carros de produção é configurada para eficiência máxima de combustível e, portanto, tem por objetivo manter o RPM baixo. Por esse motivo, a diferença de tamanho entre as marchas é relativamente alta. Infelizmente, isso significa que quando você muda para uma marcha superior, a potência do motor transferida para o solo é pequena, e a aceleração é sacrificada. Normalmente, um motor não será configurado com uma relação ampla entre todas as marchas de 1 para 5 ou 6, mas terá uma mistura de relações próximas e amplas para tirar o máximo de proveito das características específicas do motor e lidar com o traçado de uma pista. Por exemplo, uma relação próxima pode ser usada para a 1ª e a 2ª marchas, pois são usadas para arrancar e acelerar, e uma relação ampla para a 3ª marcha em diante.

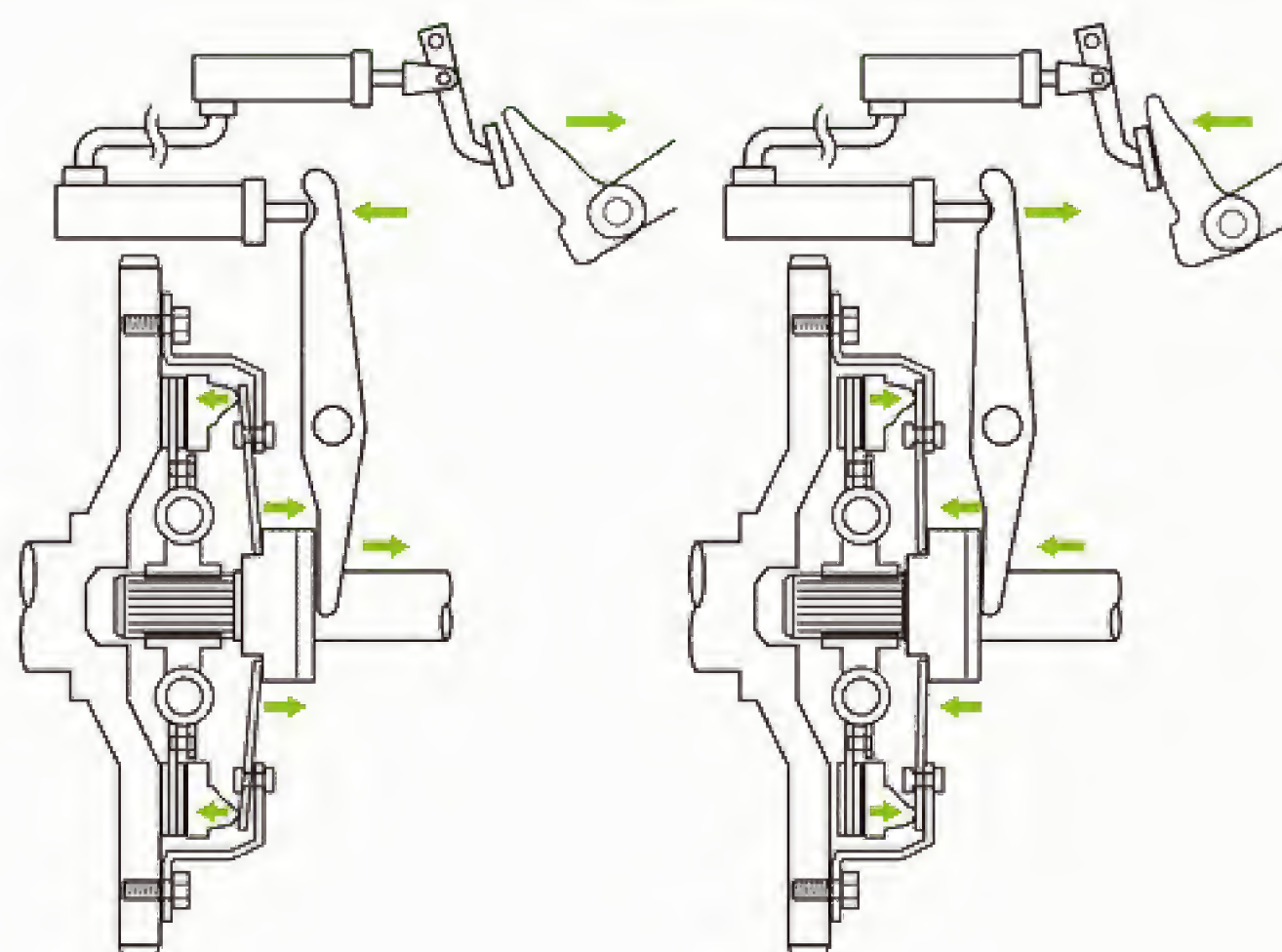
Relação ampla (Relação próxima)



Limitando a perda de potência e aumentando a reação

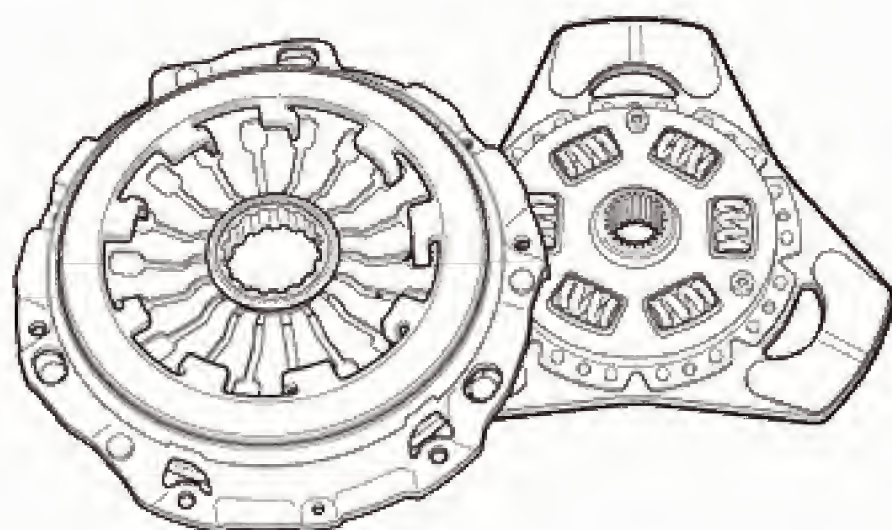
Embreagem

O reforço da embreagem é essencial em um veículo com muitas modificações, para que a maior potência do motor possa ser fornecida à transmissão com o mínimo de perda de potência e para mudar de marcha eficientemente. Mesmo a menor quantidade de derrapagem afetar o desempenho da aceleração. A ideia é aumentar o nível de atrito do disco da embreagem e a pressão da cobertura da embreagem proporcionalmente ao aumento da potência e do torque do motor.



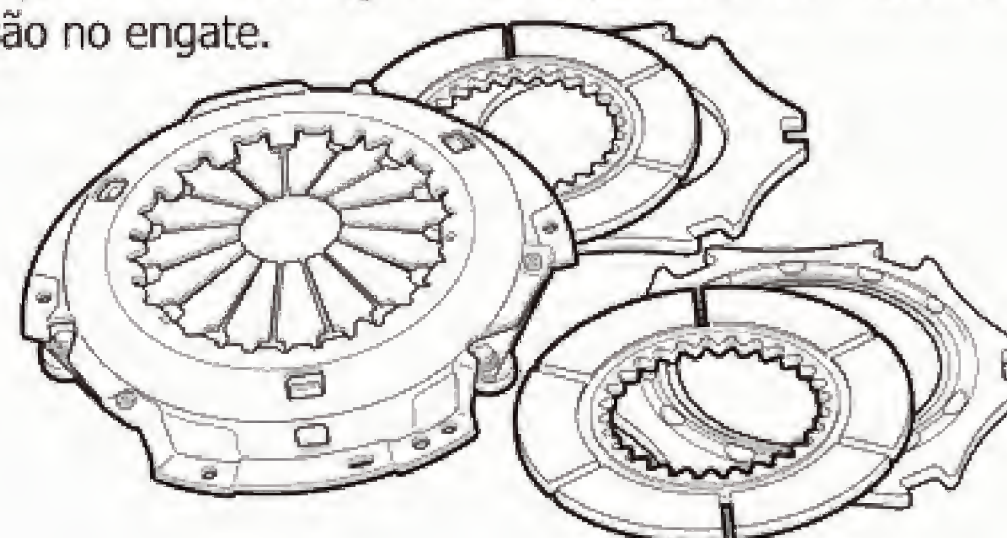
Disco e cobertura

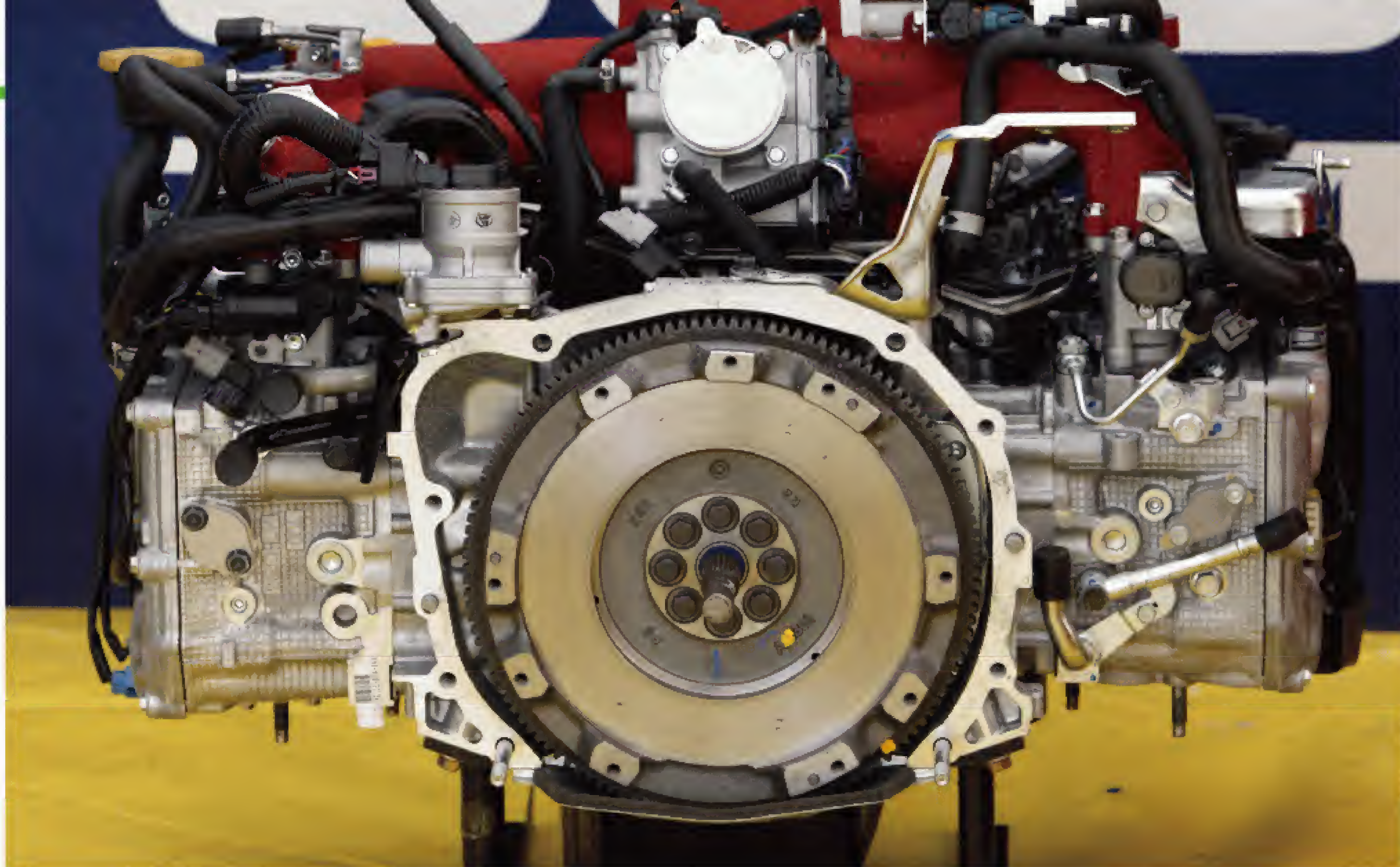
O método mais convencional de reforçar a embreagem é a substituição do disco e da tampa da embreagem existentes por peças mais resistentes. Aumentando a força de atrito do disco da embreagem e da pressão da cobertura da embreagem, a potência do motor pode ser enviada de modo mais confiável para a transmissão. Esses são componentes vitais ao melhorar a potência do motor, e sua vantagem é que não há atraso de resposta, mesmo quando eles são usados de modo agressivo no automobilismo. Discos de embreagem de metal hoje são geralmente usados devido ao atrito superior e à maior resistência ao desgaste.



Embreagem de várias placas

As embreagens regulares usam um único disco de embreagem (também conhecido como "placa"), mas o uso de uma embreagem com várias placas serve para aumentar a área que causa atrito. Embreagens reforçadas, com maior pressão de cobertura da embreagem e capacidade maior de transmitir potência do motor, usam entre duas e quatro placas. O atrito aumenta proporcionalmente ao número de placas da embreagem usadas, por isso o número mais adequado de placas pode ser selecionado dependendo do valor pelo qual a potência do motor foi aumentada. Embora a reação e a durabilidade sejam aumentadas, a desvantagem de usar embreagens com várias está em sua operação. Elas necessitam mais força para desengatar, tornando o pedal da embreagem muito pesado, necessitando de mais precisão no engate.



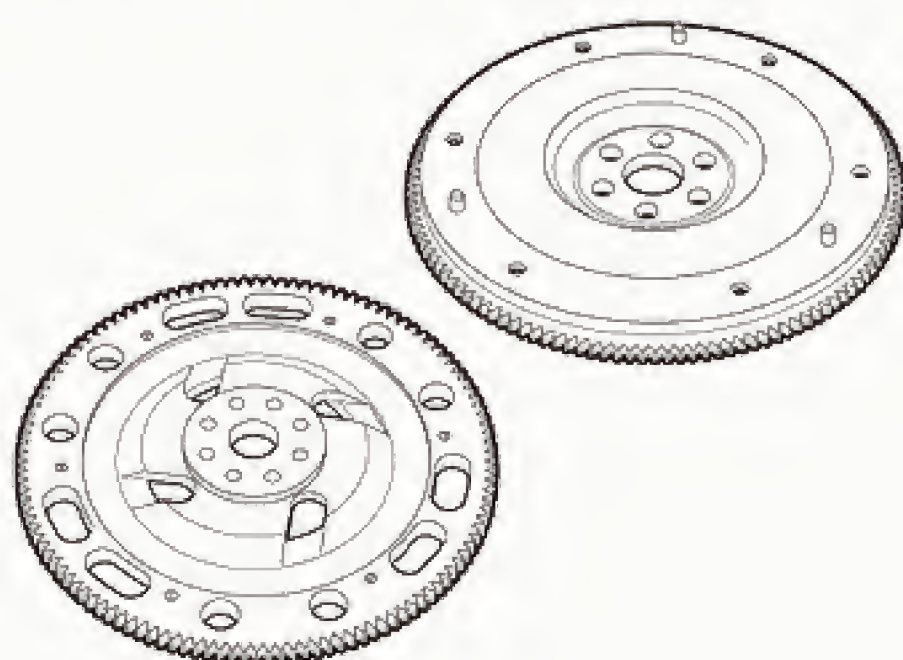


Volantes do motor e árvores de transmissão

A redução do peso da transmissão pode ser uma forma altamente eficaz de aumentar a resposta da aceleração e a aceleração em si. No entanto, um volante do motor extremamente leve pode dificultar a obtenção de níveis suficientes de torque para o carro, ao dirigir em aclives, sendo necessários ajustes adicionais para compensar isso.

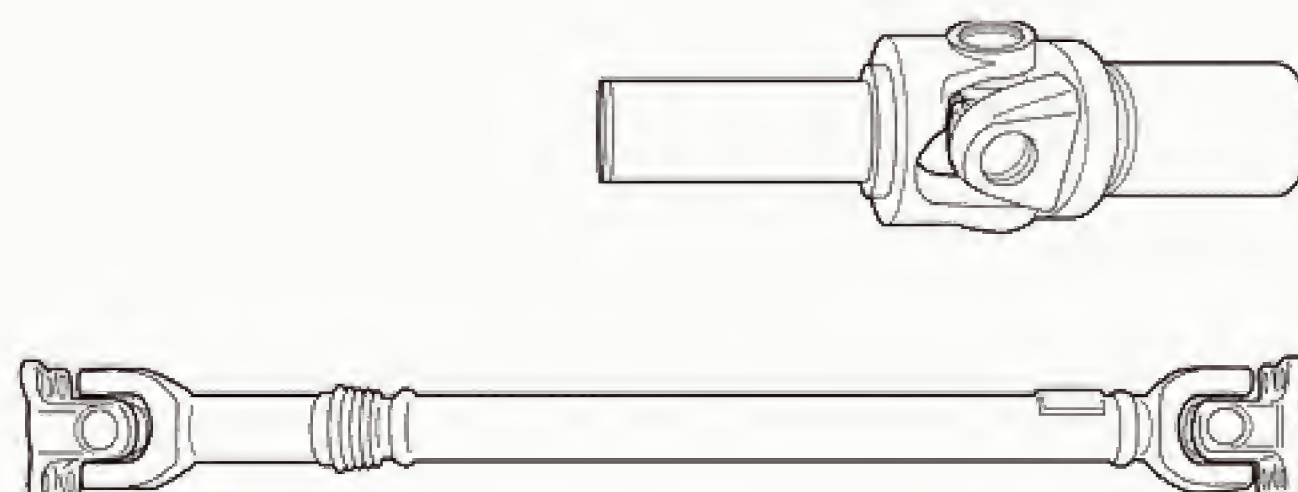
Volantes do motor leves

O volante do motor é preso à extremidade anterior do virabrequim, logo antes da embreagem, e sua principal função é evitar a irregularidade na rotação do motor. Quanto mais pesado o volante do motor, mais suave será a rotação do motor. Porém, um volante do motor pesado pode ser prejudicial se velocidade é seu objetivo, sendo preferível substituir o volante do motor existente por outro mais leve. Embora isso possa tornar a rotação do motor menos suave e reduzir o torque, oferece as vantagens de melhor reação na aceleração.



Eixos de transmissão leves

Uma árvore de transmissão (também conhecida como eixo de acionamento) transmite potência do motor da caixa de câmbio para o diferencial. A substituição da árvore de transmissão regular por um modelo mais leve pode melhorar a resposta do motor e a aceleração. Eixos de transmissão leves geralmente são feitos de carbono ou fibra de vidro (FRP) e podem ter cerca da metade do peso da transmissão padrão. É evidente que o peso menor é o principal benefício, mas a rotação mais suave é outro bônus da árvore leve.



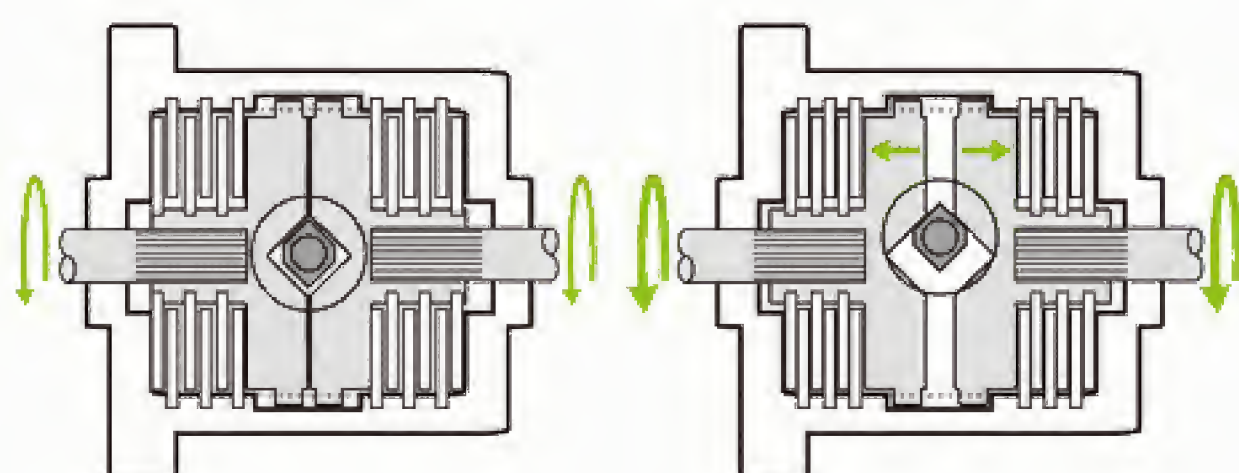
Transmitindo potência de modo confiável à superfície da estrada



Diferencial de deslizamento limitado

LSDs mecânicos permitem a maior liberdade na configuração do limite de diferença rotacional entre as rodas, mas são considerados componentes especializados de esportes automotivos e geralmente não são instalados por padrão.

Um diferencial de deslizamento limitado (LSD) é fundamental para a transmissão confiável de potência do motor para a estrada e para possibilitar curvas em alta velocidade. Dos diversos tipos de LSD disponível, o limite de diferença rotacional mais eficaz nas rodas de tração é o tipo mecânico que faz uso de uma embreagem com várias placas. Isso ocorre porque permite maior liberdade na configuração do limite de diferença rotacional e pode, portanto, ser ajustado para dar a melhor tração com base no layout da transmissão, nas peculiaridades de um determinado carro ou no estilo de direção, layout da pista e em uma série de outros fatores. A desvantagem dessa liberdade de escolha é que a alta carga sobre as peças significa que esse tipo de LSD precisa de troca de óleo e manutenção periódica.



Fator de bloqueio

O fator de bloqueio descreve o ponto em que um diferencial de deslizamento limitará a diferença rotacional entre duas rodas. Em um diferencial (aberto) normal, o fator de bloqueio é 0% (isto é, as rodas podem girar de forma totalmente independente umas das outras), enquanto 100% representa o bloqueio total (ou seja, as rodas são forçadas a sempre girar com a mesma velocidade). Quanto maior o fator de bloqueio, maior o limite colocado sobre a quantidade de diferença rotacional permitida. Um fator de bloqueio mais alto não é necessariamente melhor. Pelo contrário, o fator de bloqueio precisa ser calibrado com cuidado, baseado em fatores como layout da transmissão, altura do veículo e largura da pista, e mudará de acordo com as características de direção necessárias. Se o fator de bloqueio for alto demais, a subviragem será aumentada, levando a uma perda de capacidade nas curvas. Em termos gerais, um fator de bloqueio em torno de 50% oferece o controle mais fácil e ainda permite que o LSD tenha efeito, mas tentativa e erro é a única forma de encontrar a configuração perfeita para uma determinada situação.

Tipos de LSD mecânico

Unidirecional

Esse tipo de LSD só funciona quando o carro está acelerando. Como não funciona sem o uso do acelerador, permite que a roda interna gire livremente ao se aproximar de uma curva, assim como ocorreria com um diferencial aberto, o que resulta em curvas mais suaves. Esse tipo de LSD é especialmente adequado para carros FF, pois são propensos à subviragem, mas produz uma diferença nítida na dirigibilidade dependendo se o acelerador é aplicado ou não.

Bidirecional

Esse tipo de LSD funciona quando o acelerador está pressionado ou não. Isso produz uma subviragem inicial forte, mas permite que o carro mantenha estabilidade ao desacelerar, possibilitando abordagens mais extremas às curvas. Também apresenta reação excelente e permite que o piloto faça curvas agressivamente enquanto acelera.

Semibidirecional

Esse tipo de LSD combina as características dos sistemas unidirecional e bidirecional. O LSD funciona normalmente ao acelerar, mas o efeito é reduzido durante a desaceleração para facilitar a conversão durante a aproximação a uma curva. É uma solução completa sem as peculiaridades que afetam os outros tipos de LSD.

Torque inicial

Torque inicial se refere à quantidade de pressão que atua sobre os discos dentro da caixa de engrenagens do diferencial. O aumento ou redução do torque inicial afetará o tempo necessário para bloquear o LSD. Quanto maior ele for, melhor será a resposta de aceleração, pois o LSD será bloqueado quase instantaneamente. Quanto menor ele for, mais suave será o bloqueio do LSD, e mais fácil será de pilotar. Geralmente, o ajuste do LSD envolve o aumento do torque inicial, mas isso pode prejudicar a capacidade nas curvas, e em veículos FF pode piorar a chamada "direção de torque", por isso esse nem sempre é o caso. Há pouco tempo, LSDs com baixo torque inicial e fatores de bloqueio altos se tornaram mais comuns.



Modelando a carroceria

Ter uma carroceria leve e rígida para aceleração e controle é essencial no automobilismo. Não importa quanto você aumenta a potência do motor, se a carroceria do carro for pesada e flexível demais, é improvável que a maior potência se traduza em velocidade real.

Redução de peso e rigidez

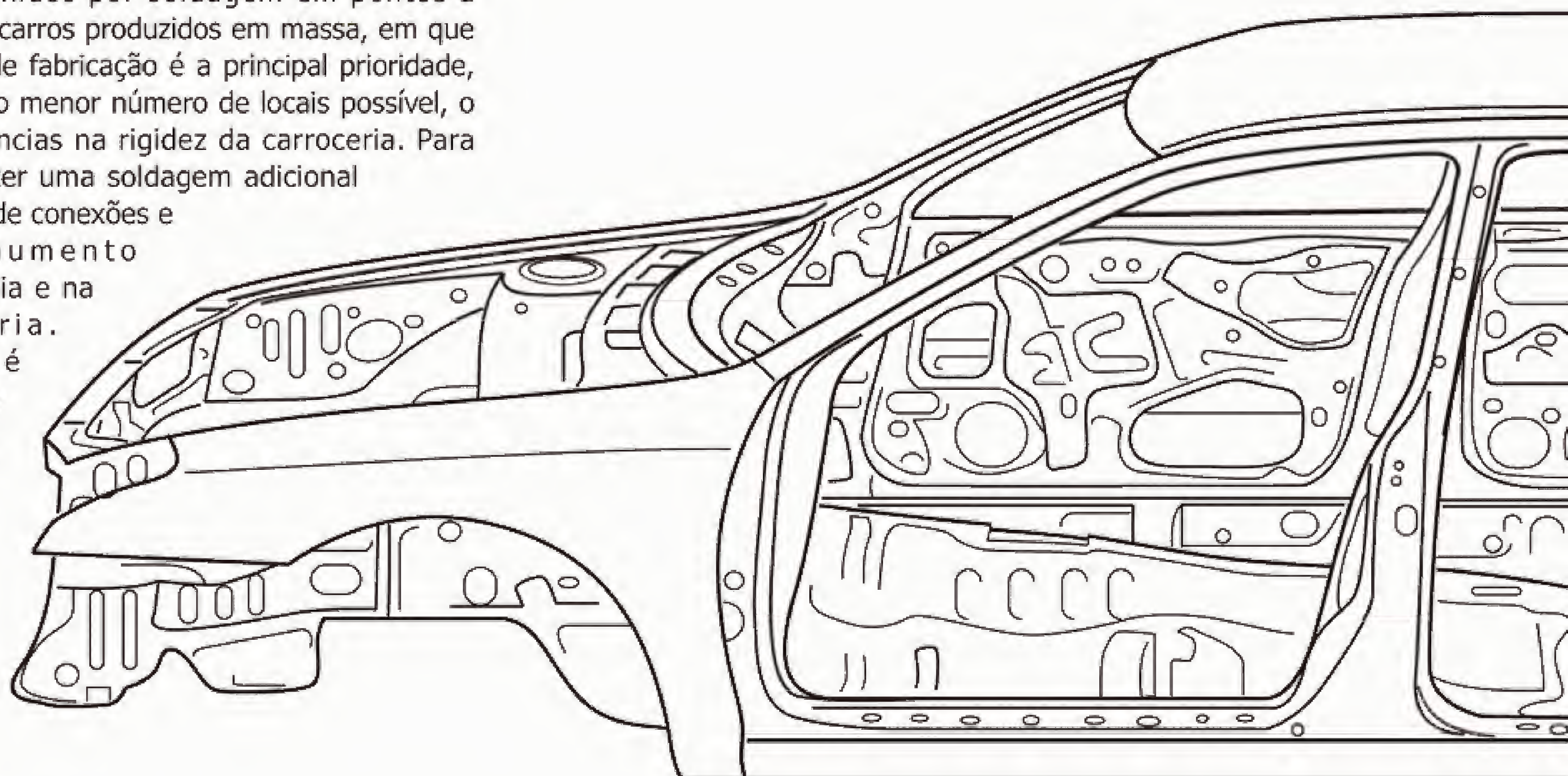
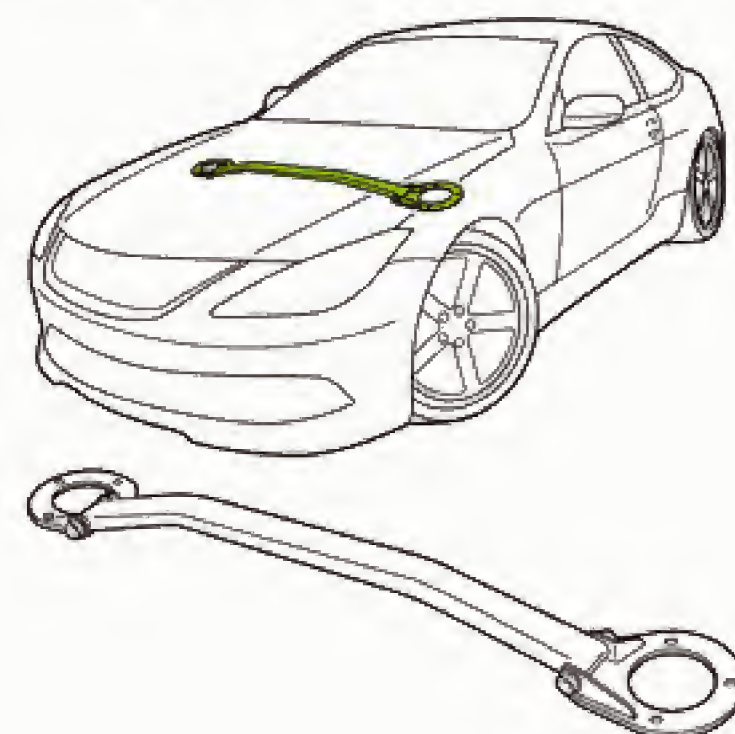
Quando se deseja aumentar a velocidade e a agilidade do carro, a redução de peso e o reforço da carroceria é absolutamente crucial. A redução do peso serve não só para aumentar a aceleração, mas também gera benefícios consideráveis na frenagem e nas curvas. Aumentar a rigidez também é essencial para que a suspensão mova corretamente, mesmo quando uma tensão de carga grande é aplicada no carro, e para manter o contato firme dos pneus com a estrada. E, para que um piloto compreenda os movimentos de um carro em condições de pilotagem exigentes e para controlar o carro com precisão, uma carroceria rígida que não deforme é essencial. Em pistas como a de Nürburgring, em que o coeficiente de tração (μ) é baixo e as forças G atuam lateral e verticalmente, é impossível realizar uma única volta satisfatória em um carro sem rigidez suficiente na carroceria.

Soldagem por pontos

A carroceria do carro é construída de painéis de metal que foram comprimidos e unidos por soldagem em pontos a intervalos regulares. Com carros produzidos em massa, em que a eficiência no processo de fabricação é a principal prioridade, os painéis são soldados no menor número de locais possível, o que pode levar a deficiências na rigidez da carroceria. Para superar isso, pode-se fazer uma soldagem adicional para aumentar o número de conexões e proporcionar um aumento significativo na resistência e na rigidez da carroceria. A vantagem desse método é que ele não implica na adição de novos componentes, então você não precisa se preocupar com o aumento do peso do carro.

Barra estabilizadora

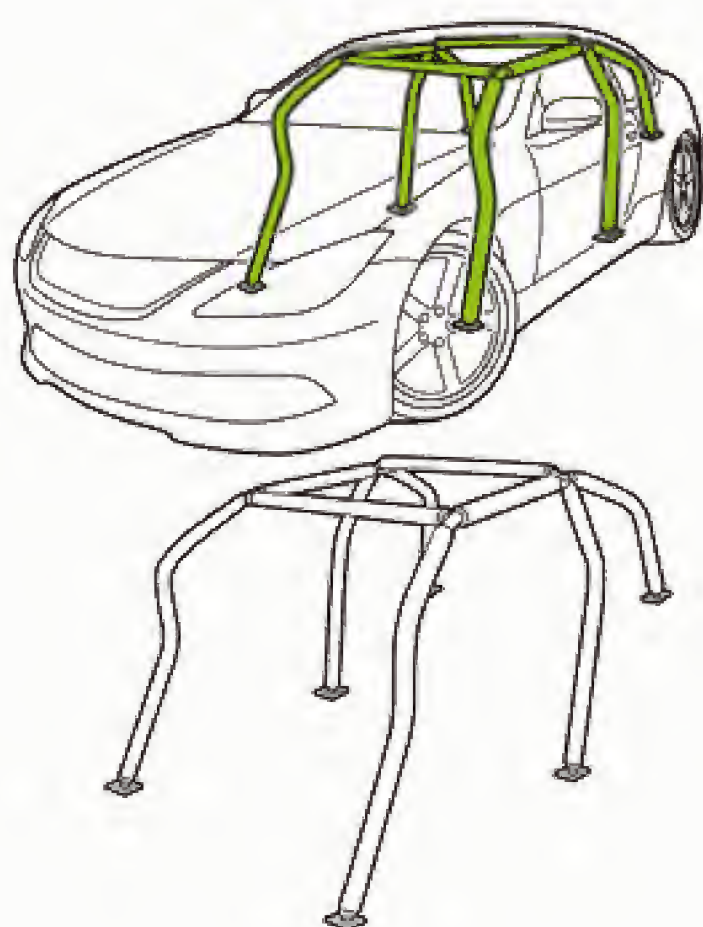
Essa é uma barra instalada pra conectar os pontos de engate da suspensão (acima do compartimento da roda) nas laterais esquerda e direita da carroceria. Ela serve para aumentar a rigidez da parte frontal da carroceria e garante o movimento preciso da suspensão e, ao mesmo tempo, aprimora a direção assistida. Em geral, uma barra estabilizadora deve ser instalada em conjunto com atualizações às molas, amortecedores e buchas. É comum instalar barras de suporte apenas na dianteira do veículo, mas é melhor também instalar uma na traseira para obter uma rigidez mais equilibrada.



Para dirigibilidade precisa

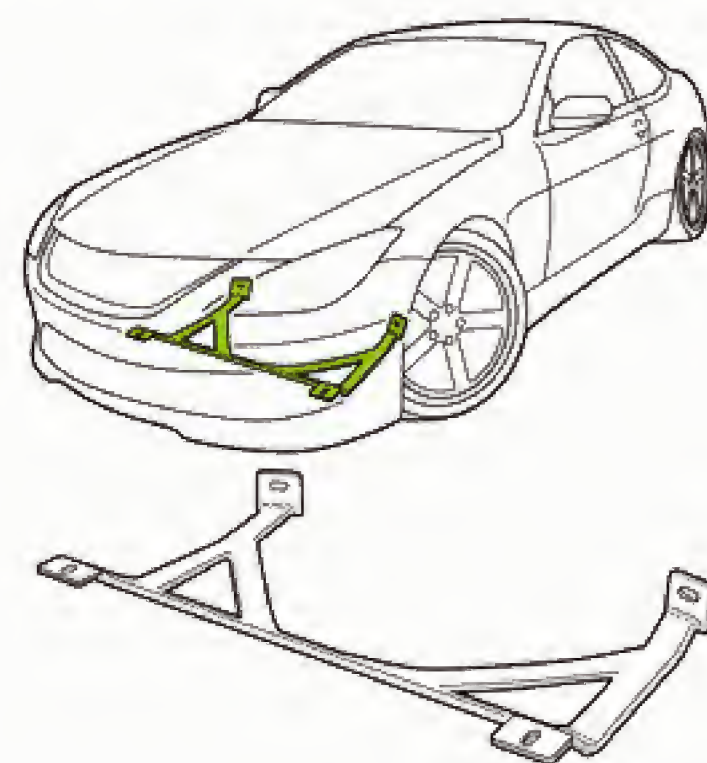
Estrutura

As estruturas foram projetadas para proteger passageiros em caso de acidente, mas também podem ser utilizadas com extrema eficiência para aumentar a rigidez da carroceria. Para isso, a estrutura não deve ter qualquer espaço entre ela e o teto e as seções das colunas, devendo também ser firmemente soldada, em vez de simplesmente parafusada. A estrutura também deve ter várias barras e pontos de suporte a fim de realmente proporcionar um aumento significativo na rigidez.



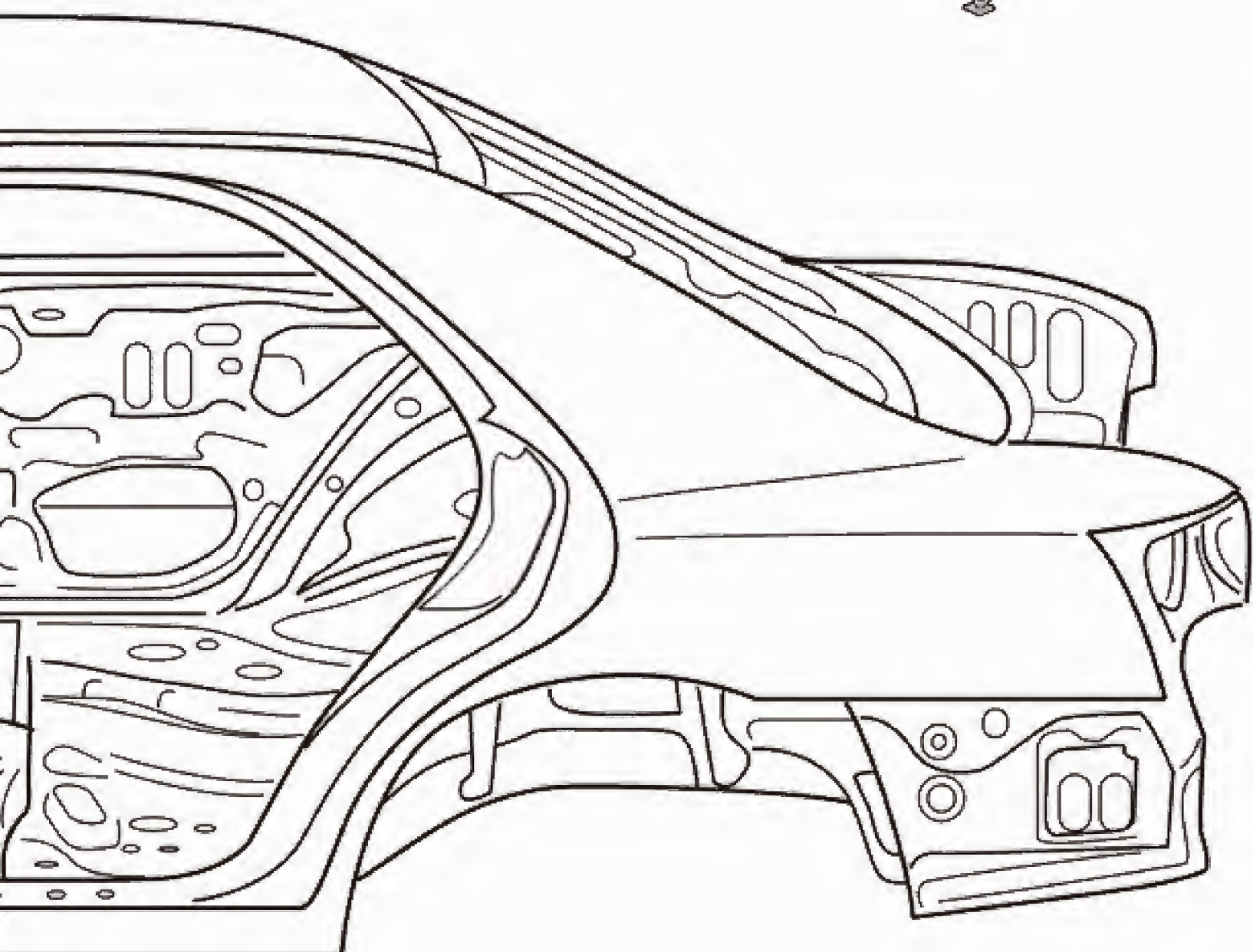
Ligação de membros

Uma braçadeira é uma barra de metal altamente resistente a torção e flexão. Ela melhora a rigidez do assoalho do veículo e, ao mesmo tempo, serve para conectar a suspensão à parte inferior da carroceria, limitando qualquer movimento indesejado para maximizar o desempenho da suspensão. Portanto, assim como a barra estabilizadora sustenta a suspensão e a carroceria dentro do capô, uma braçadeira sustenta a parte inferior da carroceria do carro. Quando usada juntamente com a barra estabilizadora, a estabilidade do comportamento do carro melhorará ainda mais.



Redução de peso

O modo mais eficaz de melhorar a aceleração, frenagem e conversão do carro é tornar a carroceria mais leve. As modificações podem variar de meios básicos, como a remoção do sistema de ar condicionado e qualquer material de isolamento acústico, até a substituição de painéis da carroceria por outros feitos de materiais leves alternativos, como alumínio ou fibra de carbono. Levado ao extremo, pode acarretar na substituição de toda a carroceria por uma de fibra de carbono, e o chassi por um de alumínio. No entanto, sempre leve em consideração que, para manter o equilíbrio nos controles e na dirigibilidade do carro, a rigidez também precisa ser aumentada. Para manter um baixo centro de gravidade, é mais eficiente começar pela redução de peso das peças superiores do carro primeiro.



Melhorando a potência de parada

Melhorias na potência do motor precisam ser combinadas com um aumento no poder de frenagem. A confiança em pisar fundo só pode vir quando se sabe que irá conseguir parar com eficiência. Porém, freios fortes significam que também é preciso empregar maneiras mais eficazes de lidar com o excesso de calor.

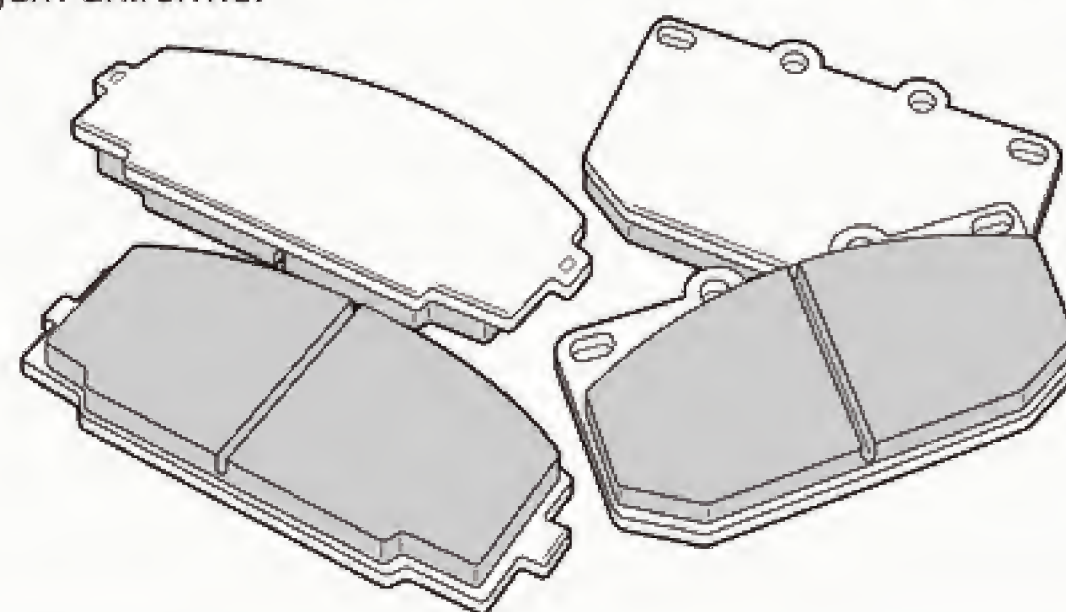
Melhorando o poder de frenagem e evitando a fadiga dos freios

Um motor ajustado para atingir mais velocidade requer um sistema de frenagem mais potente que funcione de forma mais resistente e seja mais resistente à fadiga dos freios. No nível mais básico, os freios podem ser melhorados com a substituição das pastilhas do freio. No nível mais extremo, as melhorias podem exigir a substituição de todo o sistema de frenagem por um sistema avançado projetado para as corridas de automóvel. Só não esqueça que os sistemas de frenagem nos carros de corrida não são necessariamente ideais para todas as aplicações, sendo importante selecionar peças adaptadas às suas necessidades específicas. Além disso, lembre-se de que pastilhas de freio e pinças dos pneus grandes aumentam o peso não suspenso do carro, que pode ter um efeito negativo na manobrabilidade. A regra de ouro é que o poder de frenagem deve sempre exceder a potência do motor, mas a instalação de um sistema de frenagem eficaz demais em um carro leve pode ocasionar desequilíbrio em sua performance de direção.



Pastilhas de freio

Os componentes mais básicos a serem considerados no ajuste dos freios são as pastilhas, que governam o poder de frenagem e a resistência à fadiga dos freios. A variedade de oferta de pastilhas de freio é enorme, desde as projetadas para corridas de rua até as pastilhas para automobilismo de ponta. Cada uma delas tem uma temperatura ideal diferente, a temperatura em que o poder de frenagem é maior e um nível diferente de resistência térmica. A escolha das pastilhas de freio incorretas para suas necessidades talvez não dê os resultados esperados, podendo até ter um efeito prejudicial sobre o desempenho do carro. Pastilhas de alto padrão também se desgastam mais rapidamente e aumentam o desgaste nos discos de freio devido ao maior atrito. Como regra geral, deve-se trocar todas as pastilhas de freio ao mesmo tempo para garantir uma frenagem uniforme.



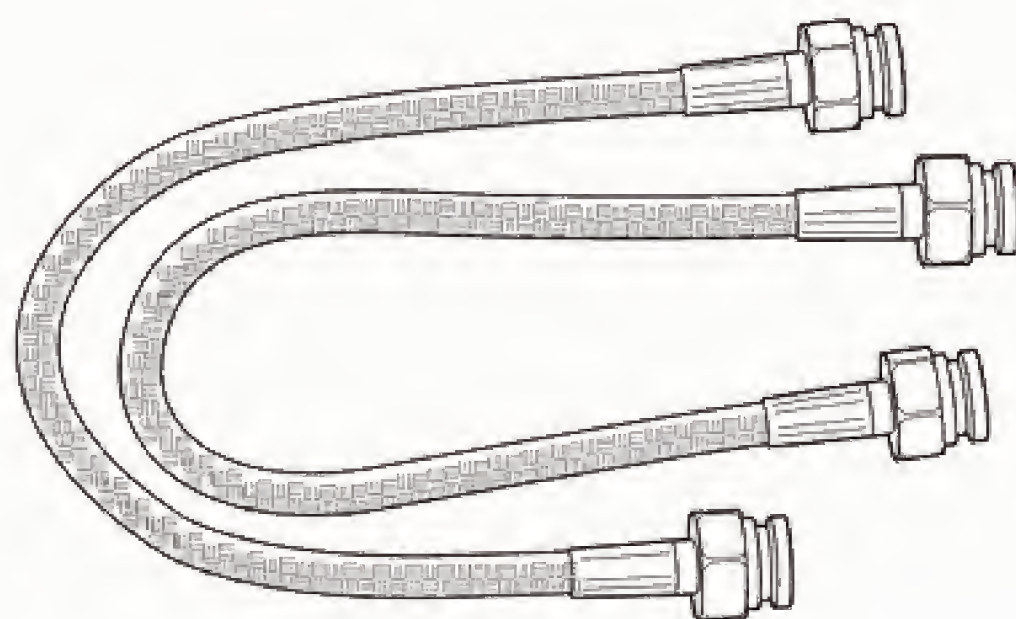
Fluido de freio

Esse é o fluido operacional usado em sistemas de freio hidráulico. Ele tem um ponto de ebulição acima de 200°C para evitar o bloqueio do vapor, mas também tem absorvência de umidade extremamente alta, o que significa que pode se deteriorar com muita facilidade. Os fluidos de freio são classificados pelo sistema DOT. O ponto de ebulição aumenta proporcionalmente ao grau DOT, assim como a tendência em absorver umidade, o que significa que o óleo se degrada mais facilmente (que abaixa o ponto de ebulição). Por esse motivo, o óleo do freio DOT 5 usado em carros de corrida precisa ser trocado com frequência. Lembre-se de que o poder de frenagem não aumenta com o DOT.

Atualização dos freios

Mangueiras de freio

As mangueiras do freio são os tubos através dos quais passam o óleo do freio. Normalmente, são feitas de borracha, mas frenagens fortes podem fazer com que dilatam, reduzindo a reação. Isso pode ser evitado usando mangueiras do freio com malha de aço inoxidável. São mangueiras de Teflon revestidas por um revestimento de malha de aço inoxidável que combinam a flexibilidade da borracha com uma maior resistência à dilatação. São instaladas como padrão em veículos de corrida para assegurar que os freios respondam sempre ao comando do piloto.

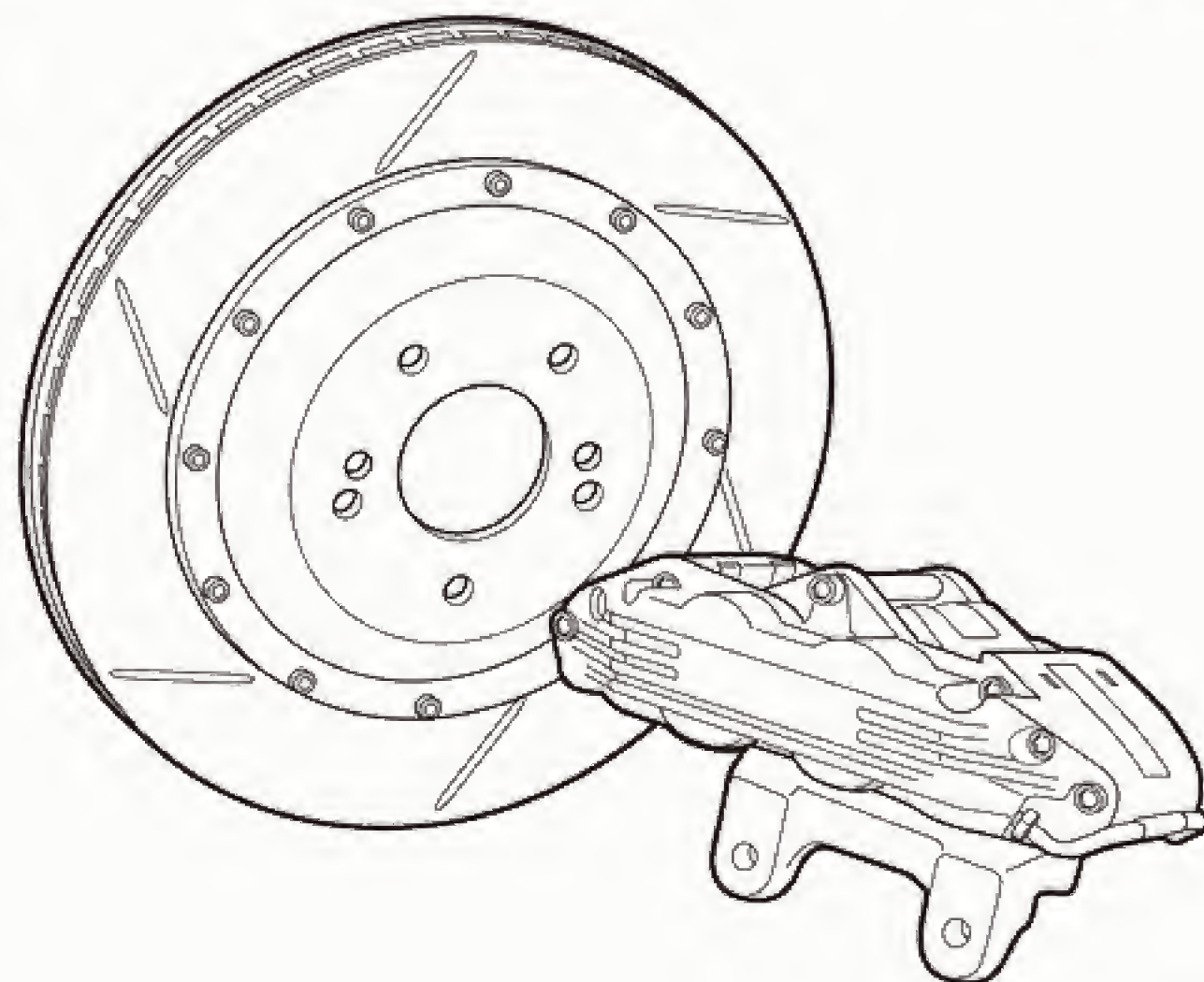


Discos de freio

A forma mais eficaz de aumentar o poder de frenagem é aumentando a capacidade do freio. Isso envolve a utilização de discos com diâmetro maior para criar mais atrito. No entanto, discos de freio grandes de ferro fundido aumentam o peso não suspenso, o que pode afetar de modo negativo o desempenho do carro. Para evitar isso, discos leves de cerâmica e fibra de carbono estão começando a se tornar disponíveis mais comumente. Como se desgastam com o uso, os discos de freio devem ser substituídos com regularidade ou recapeados para reter o poder de frenagem.

Pinças

A atualização das pinças dos pneus geralmente envolve a substituir todo o sistema de frenagem. Pinças normais pressionam as pastilhas de freio contra o disco de freio de um lado, e uma forma de atualizá-las é pela substituição pelo tipo com pistões opostos, que pressiona dos dois lados. Alguns carros de produção são equipados com freios com até seis pistões, pois o número maior de pistões exerce uma pressão mais uniforme sobre a pastilha do freio, aumentando a potência de frenagem. As pinças de pistões opostos são feitas com uma construção monobloco, e a alta rigidez da pinça em si proporciona frenagem estável mesmo em condições operacionais exigentes.



Melhorando a suspensão

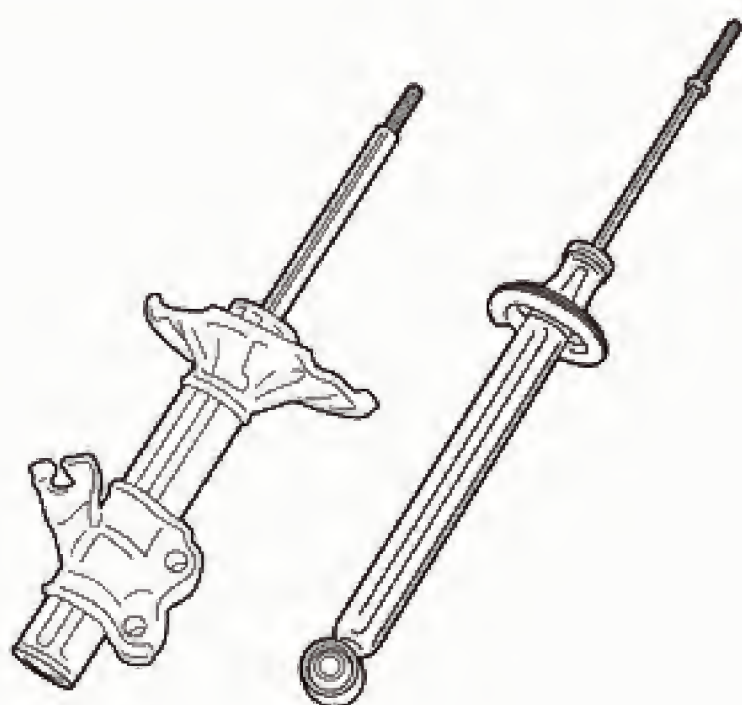
Em condições de direção exigentes, é essencial ter o suporte de uma suspensão bem ajustada para manter a estabilidade e melhorar a manobrabilidade. O ajuste da suspensão pode transformar totalmente a personalidade do carro.

Ajustando as características de dirigibilidade

O ajuste da suspensão para direção esportiva significa sacrificar parte do conforto por velocidade. Contanto que o carro esteja em terreno plano, como o de um circuito de corrida, quanto mais próximo a carroceria estiver do solo, menor será o centro de gravidade, e mais estável seu comportamento. A suspensão mais dura gera menos desperdício de movimento durante a aceleração, a desaceleração e as curvas, mantendo a dirigibilidade eficaz. No entanto, se a suspensão não se mexer, o carro não conseguirá lidar com eficiência com a transferência de carga e a condução será extremamente deficiente. A melhor solução é deixar a suspensão mais dura e, ao mesmo tempo, levar em consideração o grau com que o peso precisará se alternar nas quatro direções. Dependendo do veículo e da superfície em que se está dirigindo, talvez seja preciso, às vezes, suavizar a suspensão para melhorar o contato.

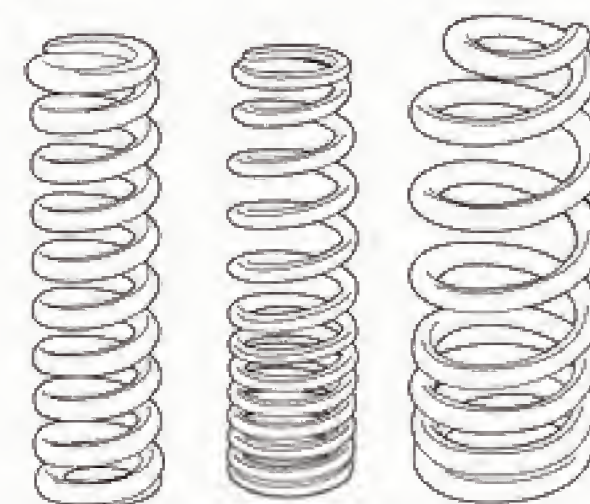
Amortecedores

O objetivo de atualizar os amortecedores é fornecer uma força de amortecimento maior que o amortecedor padrão, que se concentra no conforto da viagem. Assim, é possível manter a estabilidade mesmo em altas velocidades e com cargas pesadas, e o controle será aperfeiçoado. Normalmente, deve-se substituir e ajustar os amortecedores e, ao mesmo tempo, ajustar as molas.



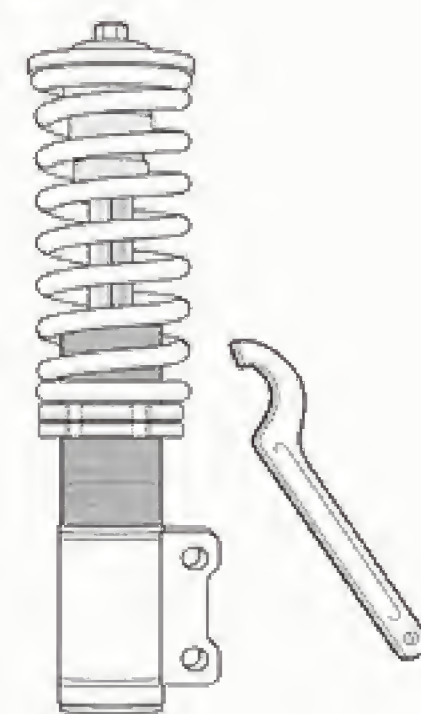
Molas

As molas melhoram a dirigibilidade ajudando o carro a atingir um centro de gravidade baixo. Além disso, também são essenciais para a manutenção da estabilidade, compensando a rolagem nas curvas, o mergulho durante a frenagem e o rebaixamento ao arrancar e acelerar.



Suspensão de altura ajustável

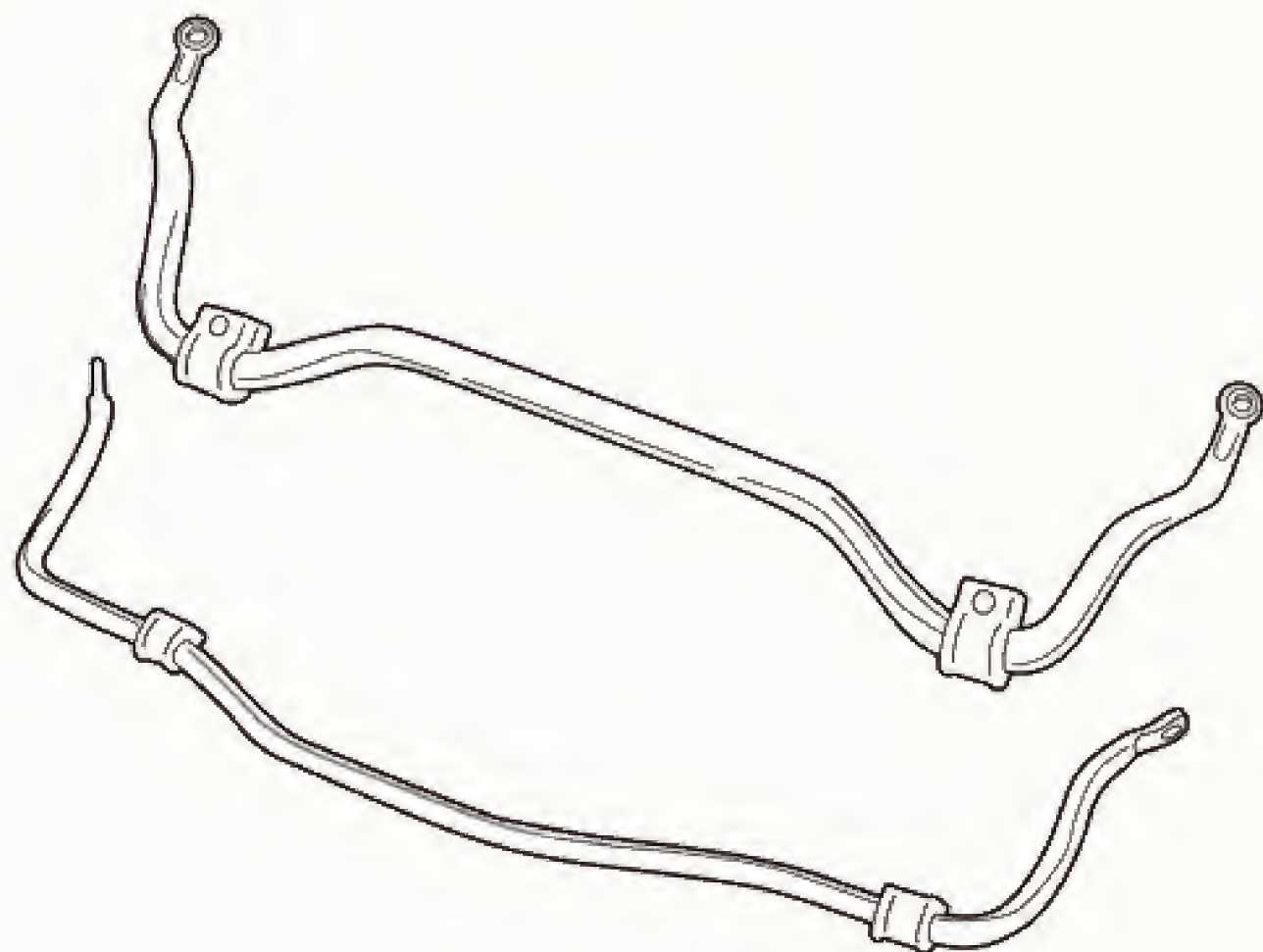
O principal tipo de suspensão de altura ajustável permite que a altura do veículo seja ajustada usando amortecedores que podem aumentar ou diminuir o comprimento das molas, bem como permitir que a força de amortecimento seja ajustada. Isso possibilita o ajuste de precisão para se adequar a qualquer situação. Há diversos métodos diferentes de ajuste da altura do veículo, inclusive parafusos ajustáveis, do anel C e o uso de braçadeiras.



Obtendo o nível desejado de dirigibilidade

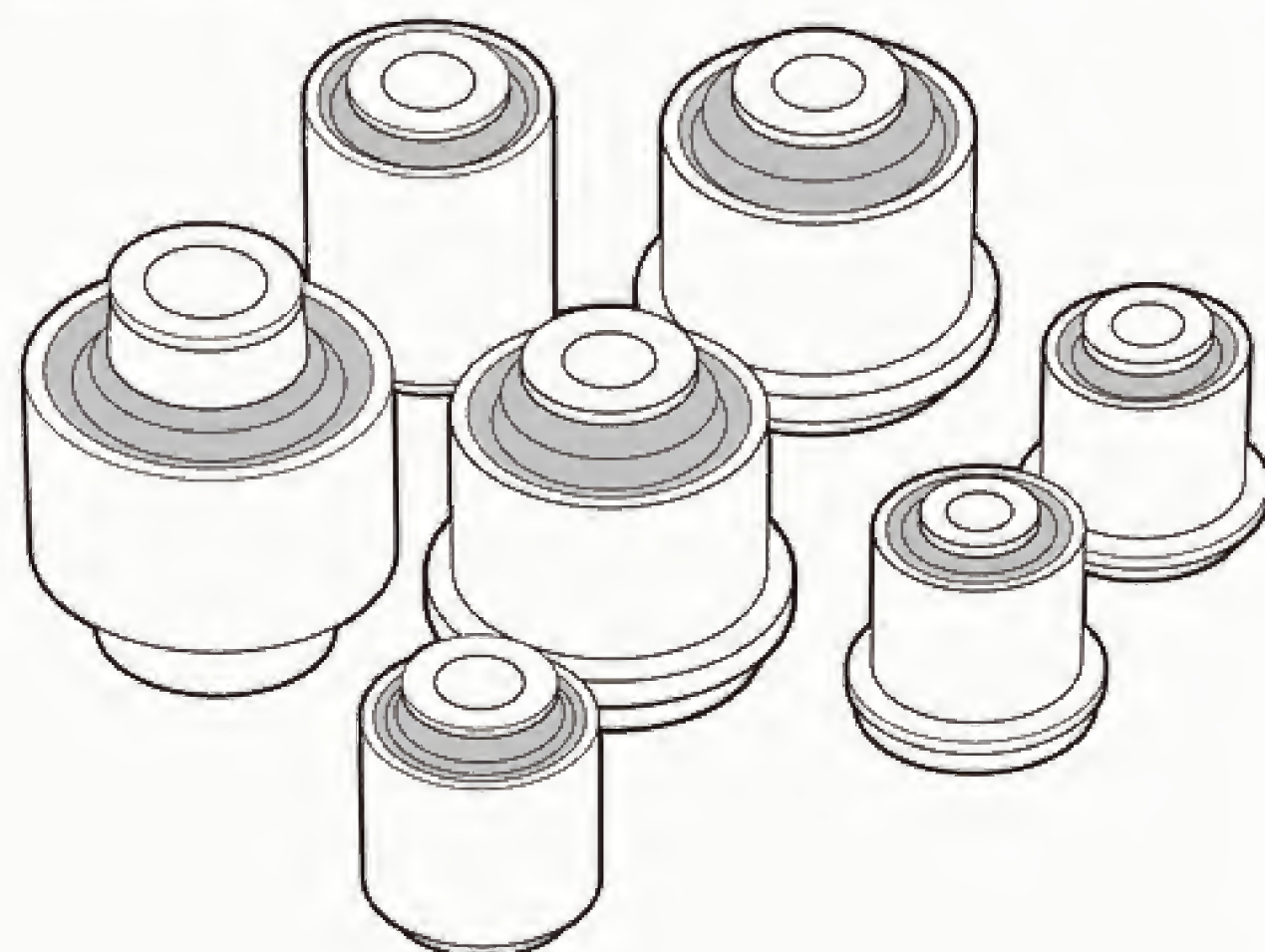
Barras antioscilação

O endurecimento das barras antioscilação pode ajudar a reduzir ainda mais a rolagem em curvas. Se a barra antioscilação dianteira for endurecida, a subviragem aumenta; se a barra antioscilação traseira for endurecida, a sobreviragem aumenta.



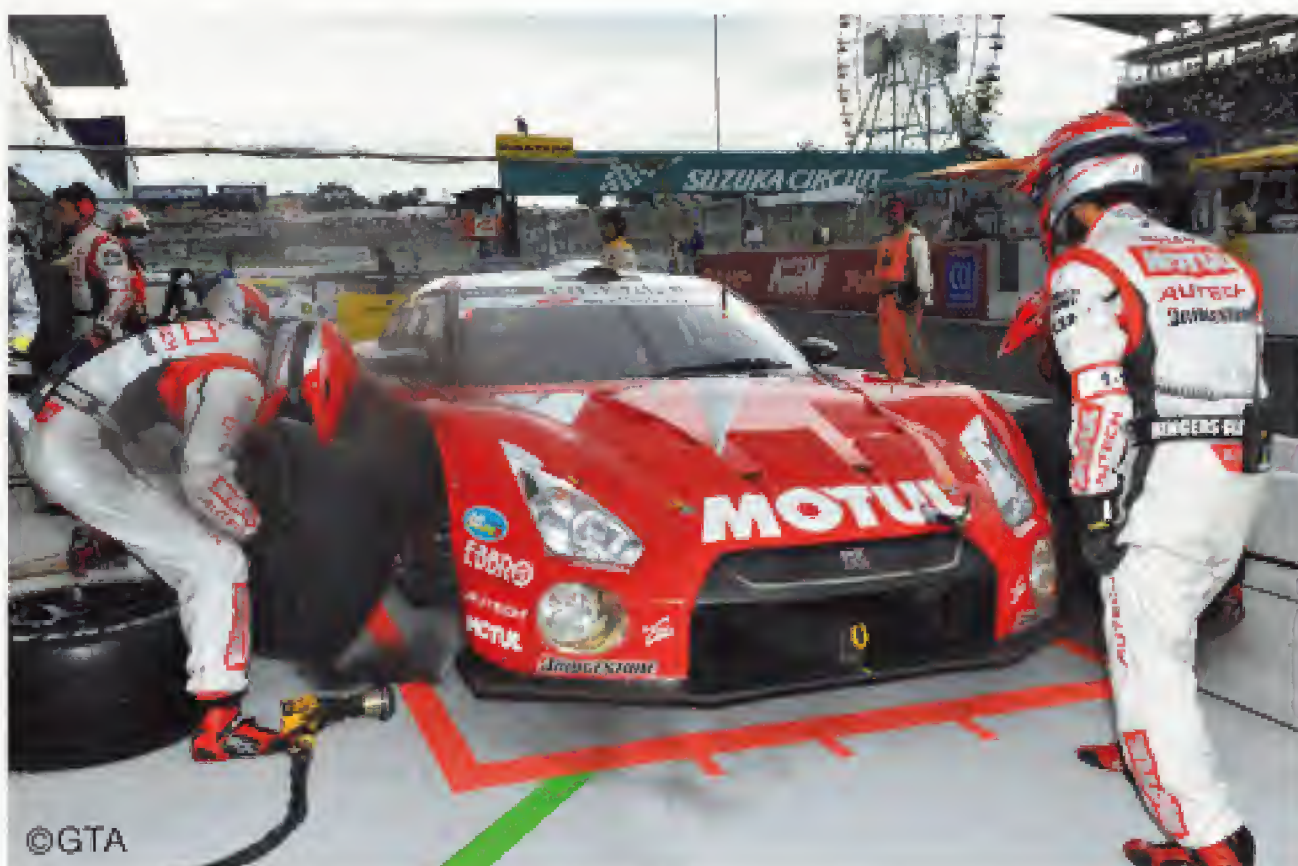
Buchas

Ao utilizar buchas mais fortes nos amortecedores, nas ligações da suspensão e em outros pontos de engate da carroceria, assim como buchas em várias conexões de ligação, o movimento indesejado da suspensão pode ser eliminado, e o controle linear e a reação de direção são aumentados. As buchas de suspensão geralmente são feitas de materiais à base de resina, como borracha ou poliuretano, mas também é possível usar buchas de coxim, que usam esferas metálicas nas partes móveis.



Atualização para pneus de alto desempenho

Os pneus de alto desempenho são uma faca de dois gumes que melhoram significativamente a aderência, mas dificultam demais o controle quando excedem os limites. Os pneus devem ser escolhidos com cuidado, considerando como complementarão a potência do veículo e outras características.



©GTA

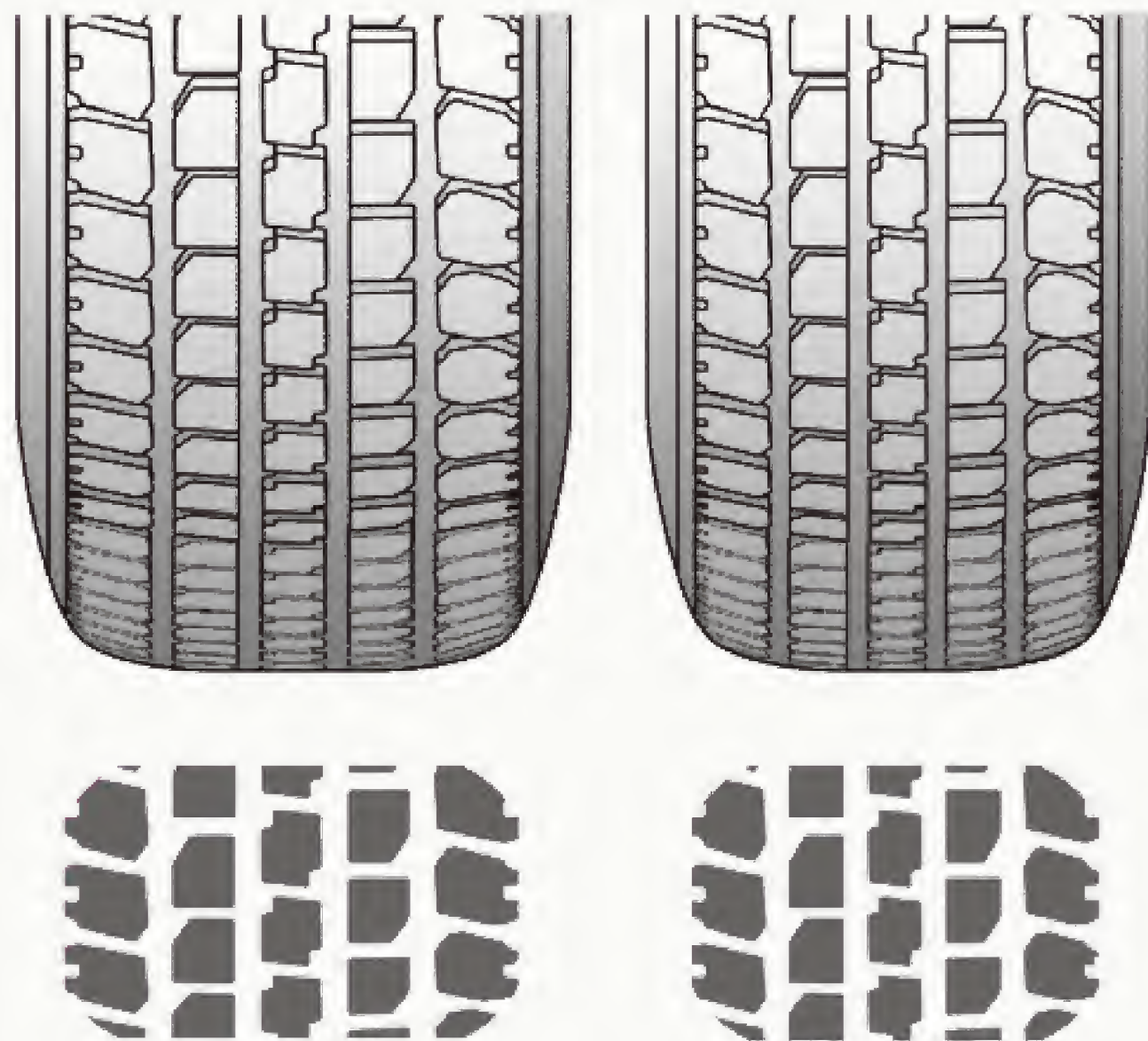
Largura

O aumento da largura dos pneus aumenta o total da superfície do pneu que entra em contato com o solo e, portanto, aumenta a aderência. No entanto, a aderência não é afetada apenas pelo grau de contato que o pneu tem com o solo. Ela também é afetada por quanta carga é colocada sobre o pneu. Portanto, instalar pneus muito largos em um carro leve pode não melhorar o contato de forma significativa, pois talvez não haja peso suficiente para pressioná-los. Outro problema pode surgir quando pneus superdimensionados são instalados em um carro com baixa potência, em que se usa tanta potência para compensar o contato dos pneus que o carro perde velocidade. Por esses motivos, a escolha do tamanho dos pneus deve-se basear no peso e na potência do veículo.

Maior contato/rigidez

Contato e rigidez são as características mais importantes dos pneus de alto desempenho.

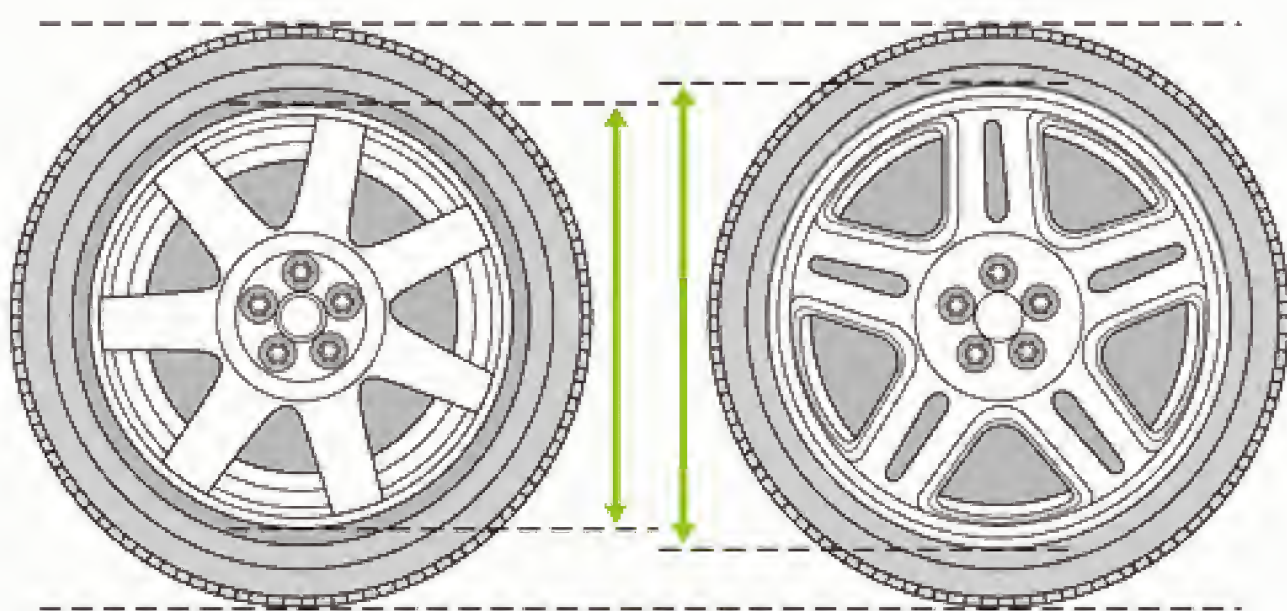
Os slicks, pneus projetados especialmente para corridas, apresentam o melhor de ambos. O composto de borracha do qual são feitos oferece excelente aderência derretendo um pouco e aderindo à superfície da pista quando aquecido. Para manter a rigidez na parte dos pneus que entra em contato com a estrada, eles não têm sulcos. Pneus de estrada projetados para direção de alto desempenho adotam uma abordagem semelhante, mas um pouco menos extrema, usando compostos de borracha mais suaves e padrões da banda de rodagem com sulcos bem rasos. No entanto, em superfícies molhadas, os sulcos são essenciais para garantir que os pneus possam se livrar do excesso de água com eficiência, e quanto mais deles houver e quanto mais profundos forem, melhor. Portanto, decidir qual o ponto de equilíbrio entre as características de pneus de tempo seco e de chuva é um elemento central ao escolher pneus.



Aderência eficiente à estrada

Perfil baixo

O perfil (ou relação de proporção) de um pneu descreve a altura em comparação com a largura. O uso de pneus de perfil baixo é uma forma de aumentar o tamanho da roda sem aumentar o diâmetro e não significa necessariamente um aumento de largura. Um dos principais benefícios dos pneus de perfil baixo é que a parte lateral externa mais curta se dobra menos nas curvas e na frenagem. Essa maior rigidez resulta em melhorias na direção assistida e na dirigibilidade. Porém, baixar o perfil do pneu aumenta o tamanho da roda, o que pode significar em mais peso não suspenso, se for exagerado, podendo também causar efeitos negativos na dirigibilidade. Em corridas de competição, rodas maiores e pneus de baixo perfil são selecionados para liberar espaço para freios maiores e mais eficientes.



Composto

A borracha usada para fazer a parte do pneu que entra em contato com o solo é chamada de composto, determinando a aderência do pneu. Pneus de alto desempenho que priorizam a aderência usam compostos suaves que aderem melhor à superfície da estrada, e os pneus de corrida até derretem um pouco sob o calor para que possam ter melhor adesão à superfície da pista. No entanto, embora tenham melhor aderência, os compostos suaves se desgastam muito mais rapidamente e os compostos mais duros são mais duráveis. É importante entender as características do composto usado para escolher o pneu certo. Os pilotos também devem estar cientes de que a borracha endurece com o tempo e novos pneus perdem gradualmente a aderência por causa disso, sobretudo os que são feitos de compostos mais suaves.

Padrão da banda de rodagem

A série de sulcos cortados na superfície de um pneu é conhecida como padrão da banda de rodagem, sendo criada para manter a aderência em condições de chuva, eliminando o excesso de água da superfície do pneu. No entanto, em condições de tempo seco, esses sulcos reduzem a rigidez e podem fazer com que a superfície do pneu entorte ou oscile sob cargas pesadas, como nas curvas, na frenagem e na aceleração. Por esse motivo, os pneus slick usados para a corrida não têm sulco algum, e pneus semiautomobilísticos usam um número mínimo possível de sulcos que são o mais superficial possível, para manter a rigidez.

Aperfeiçoando a aerodinâmica

As melhorias aerodinâmicas são parte essencial do aumento do desempenho em alta velocidade. No entanto, ajustes inadequados podem causar mais problemas do que resolver. Por isso, é necessário uma abordagem extremamente delicada.

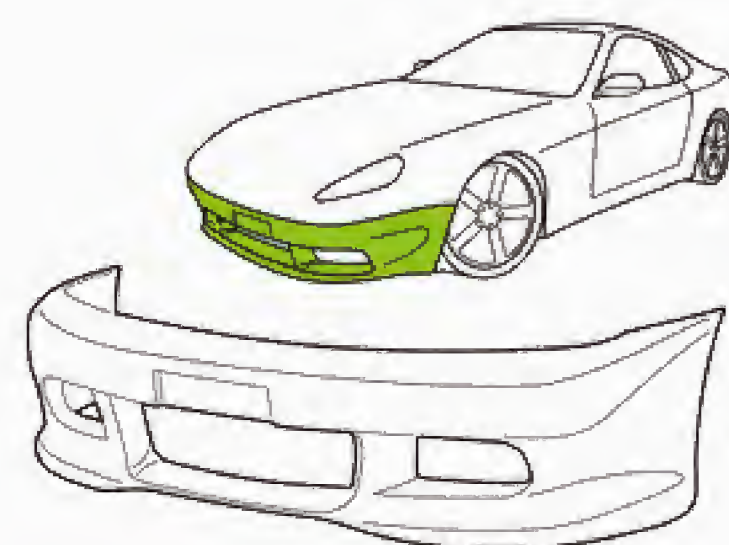
Canalizando o vento

Ajuste aerodinâmico

Os elementos aerodinâmicos são geralmente encaixados por motivos puramente de estilo, mas quando usados de modo adequado, são parte fundamental no ajuste de um carro à perfeição. A aerodinâmica bem ajustada reduzirá a resistência do ar que limita a velocidade e as forças que agem para elevar a carroceria do solo, aumentando significativamente a performance geral de direção. A força descendente criada pelos elementos aerodinâmicos é essencial para aumentar a estabilidade e maximizar o desempenho de aderência dos pneus, além de aumentar o controle do carro. No entanto, é essencial equilibrar o ajuste aerodinâmico com a suspensão e todo o carro, não sendo raro que o ajuste inadequado atrapalhe a performance de direção.

Spoiler dianteiro

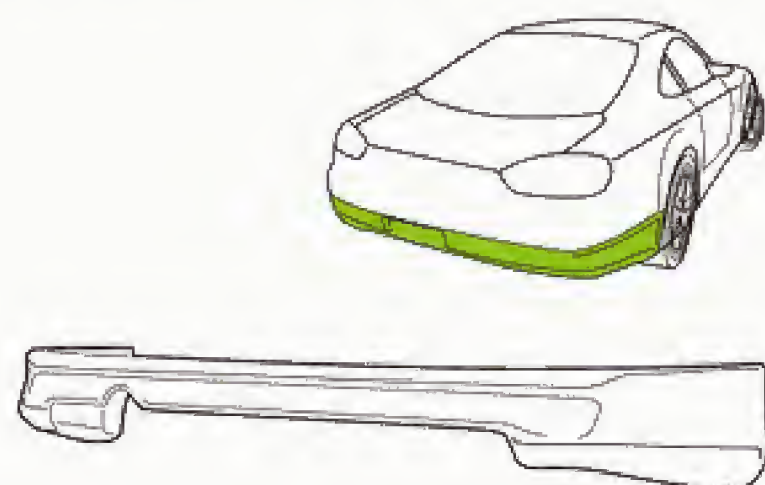
Projetado para conter o fluxo de ar debaixo do carro, reduzindo a elevação. Porém, em alguns casos raros, peças de formato insatisfatório instaladas em um carro rebaixado podem gerar fluxo de ar pressurizado sob o estreito espaço entre o carro e o chão e causar elevação em vez de suprimi-la. Nos casos mais graves, isso pode levar à perda total de controle.



©GTA

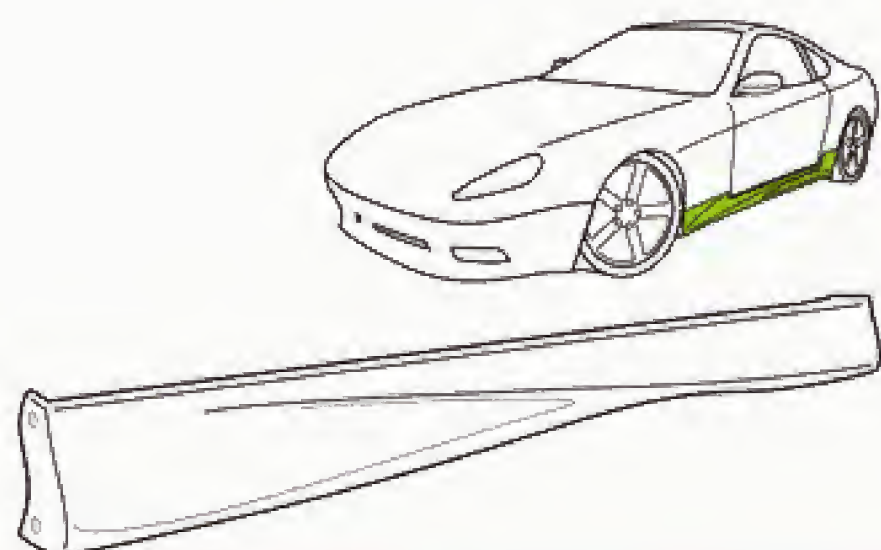
Spoiler do para-choque traseiro

Projetado para otimizar a forma do para-choque traseiro, evitando a turbulência de ar e garantindo o fluxo de ar estável. O para-choque e o spoiler do para-choque traseiro podem ser fabricados como uma peça ou o spoiler pode ser instalado como peça separada que se prende à parte inferior do para-choque. O primeiro é chamado de spoiler do para-choque traseiro e o segundo é chamado de spoiler saia traseiro ou saia traseira.



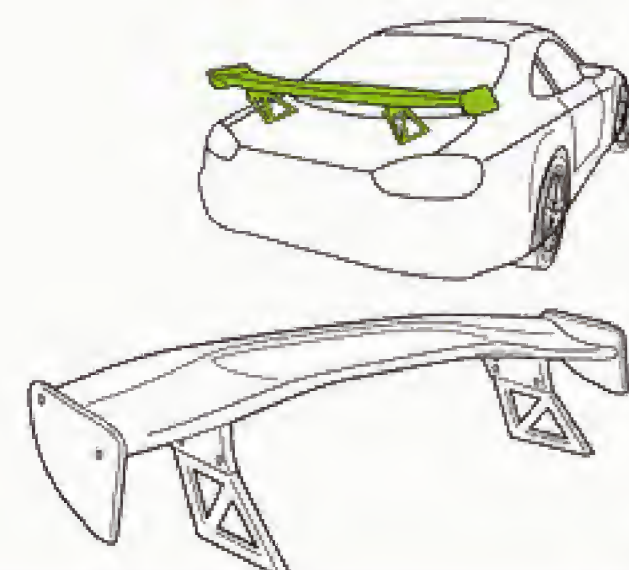
Spoiler lateral

Também chamados de saias laterais ou estribos laterais, são montados nas saias laterais esquerda e direita da carroceria. Reduzem a resistência do ar que é aplicada ao longo da lateral do carro.



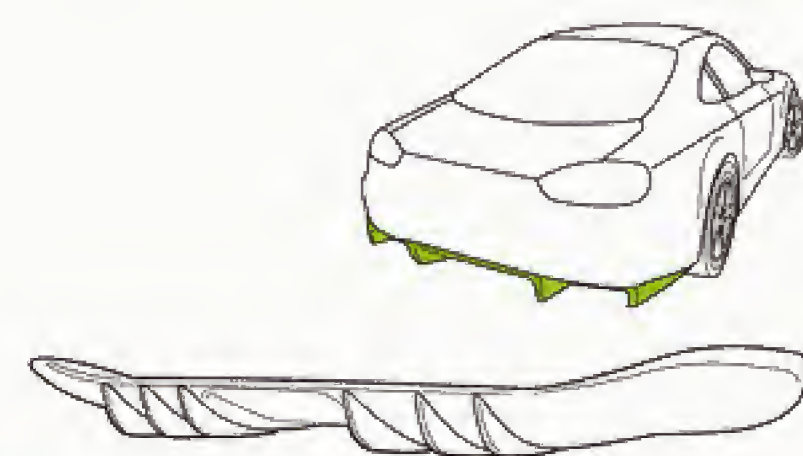
Aerofólio traseiro

Instalados na parte superior da traseira da carroceria, os aerofólios traseiros asseguram que o fluxo de ar seja suave em torno do carro e evita a turbulência de ar. A forma do spoiler também é projetada para compensar a elevação. Quanto maior o tamanho, mais força descendente é gerada e maior é o contato nos pneus traseiros.



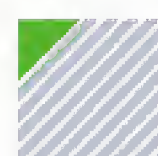
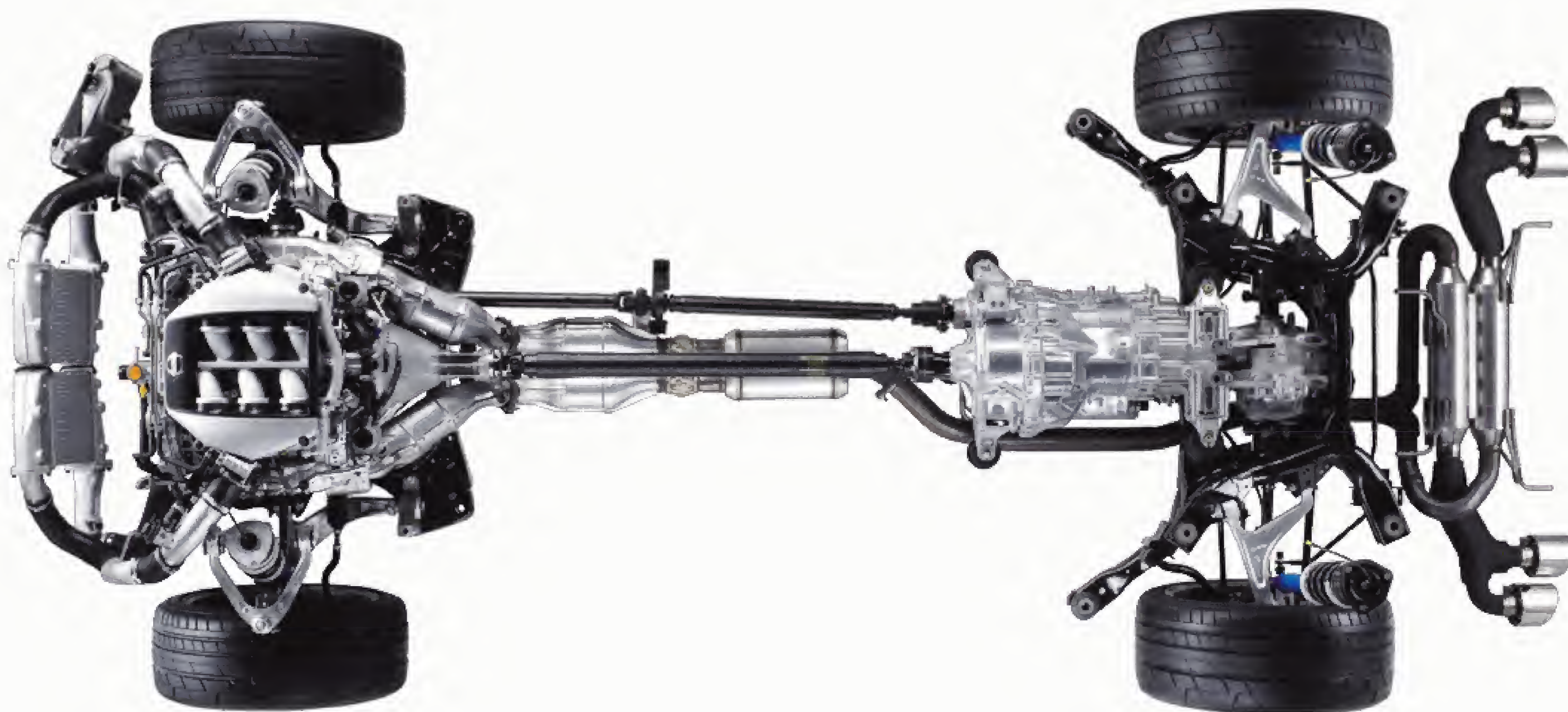
Difusor traseiro

O difusor traseiro é encaixado embaixo do para-choque traseiro e cria pressão negativa tirando o ar na parte de baixo do carro com eficiência, aumentando a força descendente. São geralmente usados em carros de corrida, e quanto menor o espaço entre o difusor e a pista, maior é o efeito.



Alteração das configurações de acordo com as características do carro

As possíveis configurações no ajuste de um carro são tão variadas quanto os próprios carros. Em meio às diferenças entre os carros, o layout da transmissão pode ter um dos maiores efeitos na dirigibilidade e no comportamento do veículo. É importante entender como os diferentes layouts se comportam antes de fazer ajustes.



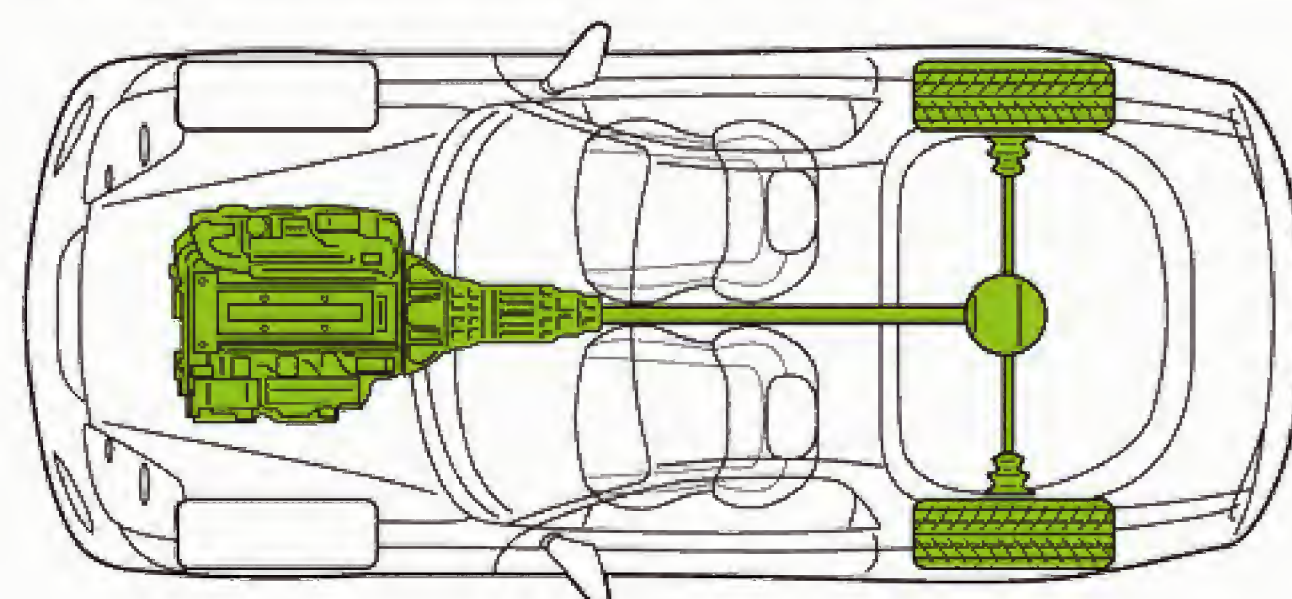
Layout da transmissão

O layout da transmissão refere-se ao local do motor, a parte mais pesada do carro, e as rodas às quais esse motor fornece energia. Diferentes layouts da transmissão têm diferentes vantagens e desvantagens, e, mesmo em carros esportivos muito modificados, o tipo de transmissão ainda é um fator enorme, pois tem efeito direto sobre o controle e o comportamento do carro. É difícil alterar o layout da transmissão, mas é possível ajustar um layout específico para destacar os pontos fortes e suprimir os pontos fracos. Uma configuração que explora e melhora com inteligência o layout existente de transmissão, a suspensão e as características aerodinâmicas pode criar uma dirigibilidade que fica em uma classe diferente da norma.

FR

Se receber uma boa distribuição de peso, um carro FR oferece capacidade de conversão e estabilidade incríveis.

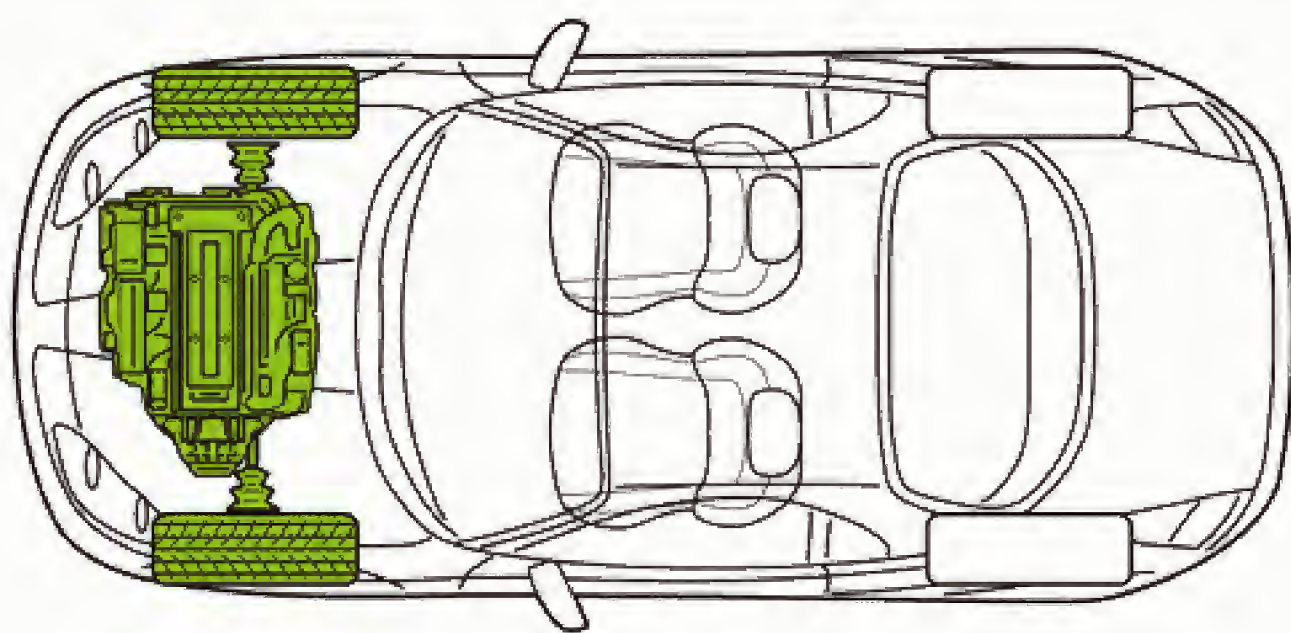
Se você quiser ir mais rápido, é uma boa ideia ajustá-lo para gerar mais tração nas rodas traseiras, para que a cauda não deslize para fora na aceleração. A dianteira, por outro lado, deve ser ajustada de forma que não fique propensa a uma condição de "subviragem forçada" que impedirá que você trace a linha de direção desejada novamente quando a carga da dianteira for reduzida durante a aceleração.



Compensar pontos fracos, melhorar pontos fortes

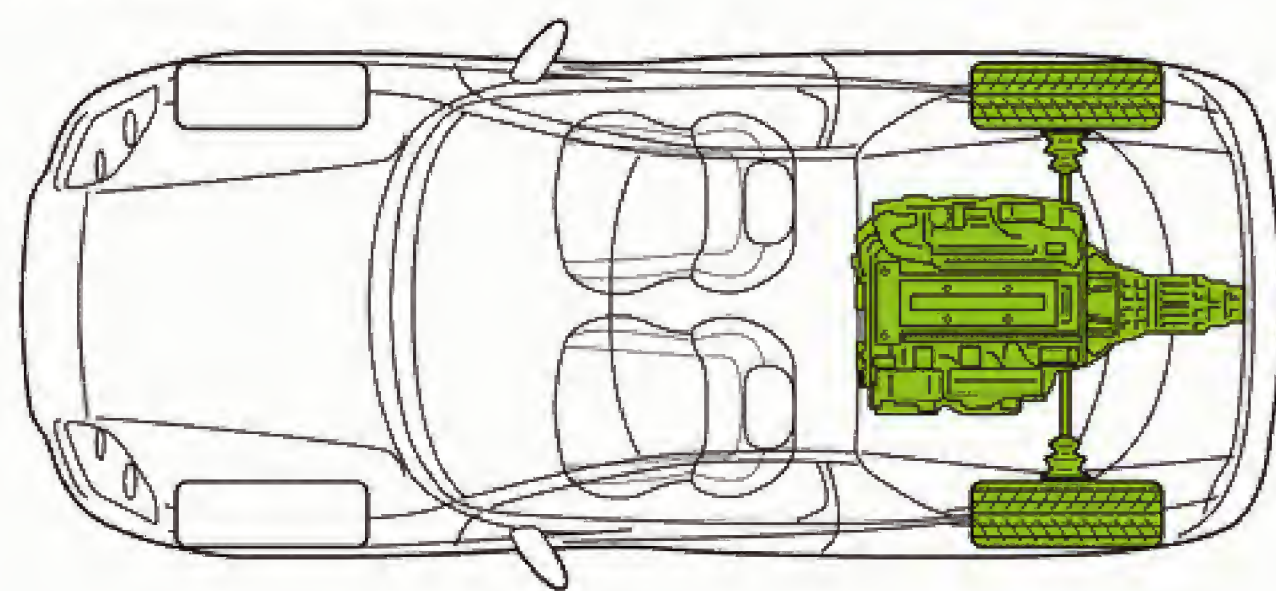
FF

Em um carro de FF, os pneus dianteiros (tanto rodas de direção quanto de propulsão) tendem a atrair toda a atenção, mas você não deve se esquecer da traseira. Em uma pista de alta velocidade, a traseira deve ser configurada para ter mais estabilidade, ao passo que em uma pista com várias curvas, o foco deve ser permitir que a traseira deslize com mais facilidade ao se soltar o pedal, possibilitando a realização de curvas acentuadas. Carros FF geralmente usam LSDs do tipo unidirecional, que se ativam somente na aceleração.



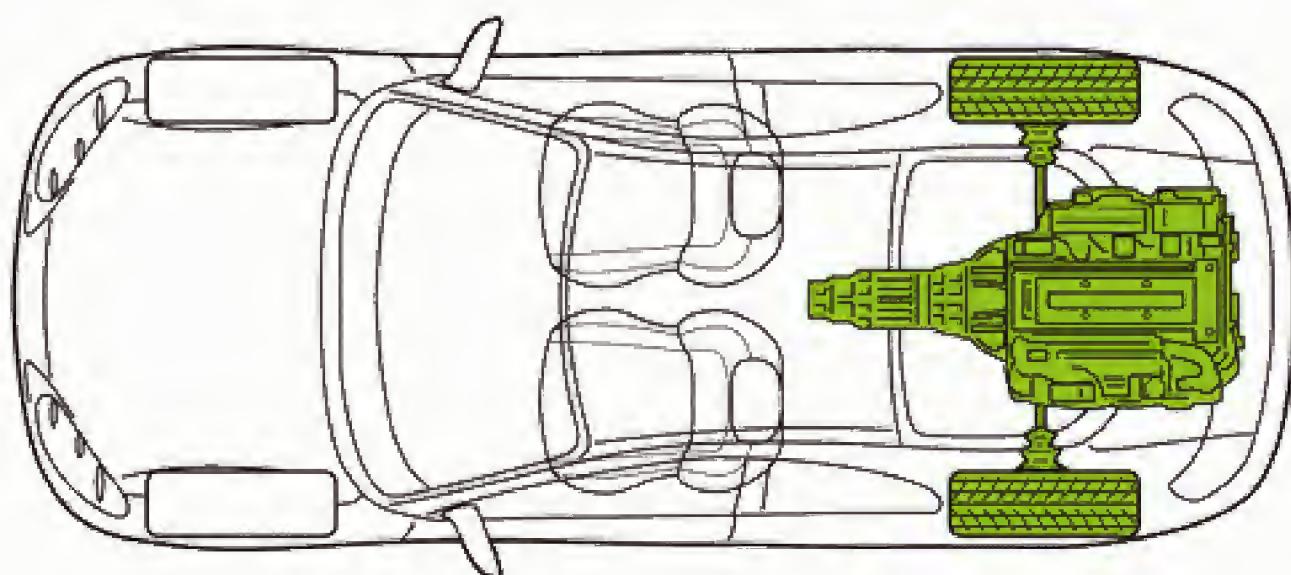
MR

Posicionar o motor em direção ao centro do carro permite boa aceleração e desaceleração. A conversão também é acentuada, mas quando levado ao limite, a carga menor na extremidade dianteira pode levar à subviragem. A velocidade na qual a extremidade traseira desliza também é muito rápida e mais difícil de controlar. Ao ajustar, deve-se dar atenção à garantia de desempenho de conversão na entrada das curvas e ao aumento da tração ao acelerar na saída das curvas. A força descendente dianteira e traseira também deve ser equilibrada com cuidado.



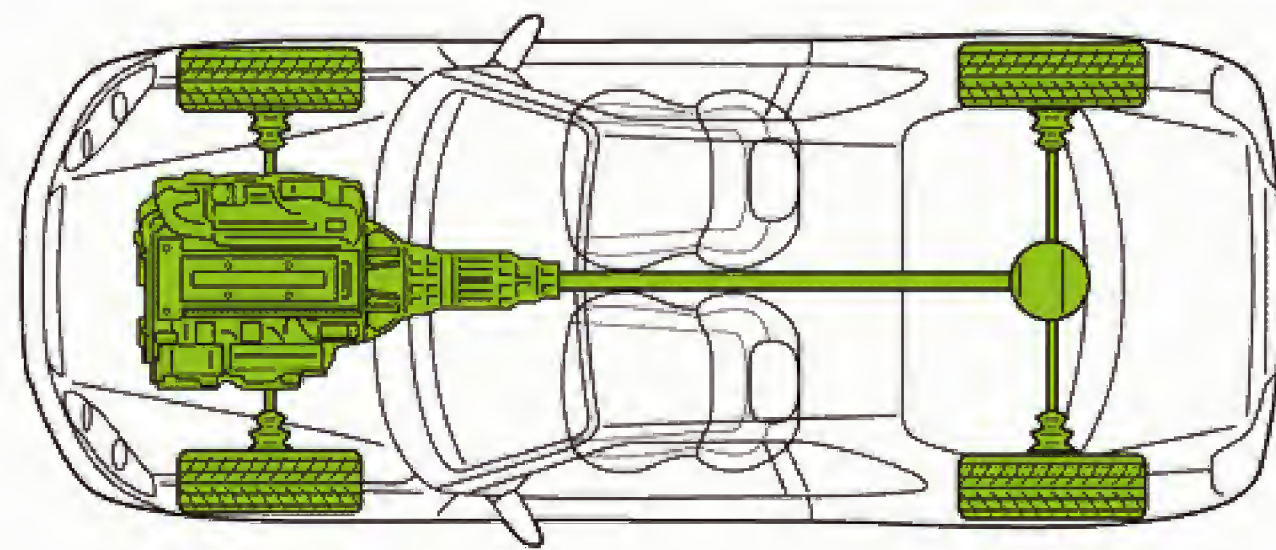
RR

Uma combinação do motor na traseira e tração traseira oferece uma ótima aceleração e desaceleração, mas há ainda menos peso na dianteira do que em um layout MR. Por isso, a subviragem nas curvas é ainda mais acentuada. Além disso, quando forçada até o limite em uma curva, a traseira pesada atuará como um pêndulo, oscilando intensamente e causando sobreviragem súbita. O ajuste desse layout de transmissão geralmente define a melhoria da capacidade de conversão ao entrar nas curvas.



4x4

Dependendo do layout da transmissão em que é baseado o 4x4, o carro terá um comportamento diferente, mas, em termos gerais, o ajuste de um veículo 4x4 é mais difícil devido à estabilidade extremamente alta. A estabilidade na aceleração na saída de uma curva é extremamente boa para começar, então a configuração deve se concentrar na capacidade de conversão na entrada inicial na curva. Os LSDs usados nesses carros geralmente são unidirecionais na dianteira e bidirecionais na traseira.



Configurações básicas peça a peça

Apenas instalar peças de alto desempenho não tornará seu carro mais rápido. Ajustar as configurações levando em consideração o equilíbrio total do carro é a única maneira de alcançar o potencial total de cada componente e aumentar o desempenho geral do veículo.

Suspensão

[Altura ao solo/elasticidade da mola]

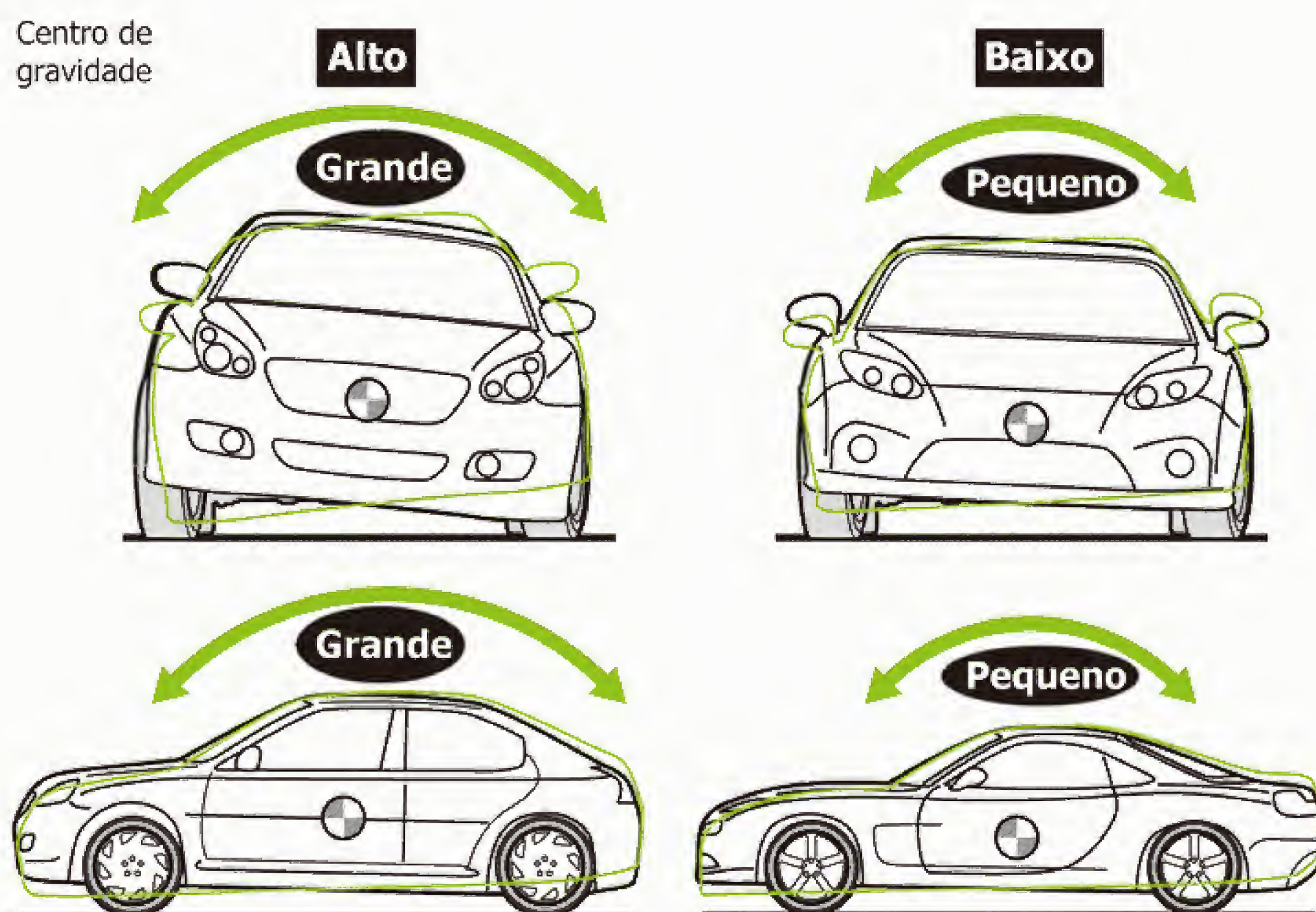
Mudando o comportamento do carro

Se as condições da estrada forem boas e a superfície for plana, quanto menor a altura ao solo de um carro, menor o centro de gravidade. O que reduzirá a inclinação na aceleração e desaceleração assim como a rolagem nas curvas, aumentando assim o desempenho geral. O comportamento do carro também pode ser ajustado através da configuração de diferentes alturas para a suspensão dianteira e traseira. Por exemplo, deixar a suspensão dianteira mais baixa do que a traseira empurrará as rodas dianteiras contra a estrada de forma mais intensa ao entrar numa curva, e o carro fará a curva com mais suavidade. Em carros com tração dianteira, isso também pode ser usado para neutralizar a tendência da dianteira do carro em subir ao acelerar.

A elasticidade da mola também tem um grande impacto na forma como o carro se movimenta. É comum supor que quanto mais duras as molas, melhores, mas esse nem sempre é o caso. Molas mais duras podem reduzir movimentos de direção

desfavoráveis, como inclinação, guinada e rolagem, o que também pode ser obtido com a redução da altura ao solo. No entanto, se estiverem duras demais, o recuo da superfície da estrada aumentará a um ponto em que será difícil para os pneus permanecerem em contato com o solo, e a tração será perdida. Por esse motivo, a elasticidade da mola deve ser calibrada com atenção para não ser justa ou frouxa demais para as suas necessidades.

A elasticidade da mola também tem um impacto grande na dirigibilidade. Aumentar a elasticidade na dianteira pode levar à subviragem, enquanto aumentar a elasticidade na traseira pode aumentar a sobreviragem. No entanto, isso também é afetado pelo ajuste da força de amortecimento dos amortecedores. Assim, o efeito de ambos deve ser levado em consideração ao determinar as configurações de suspensão.



Acertando o equilíbrio entre a configuração de suspensões

Suspensão [Força de amortecimento]

■ Controle da compressão e da extensão da mola

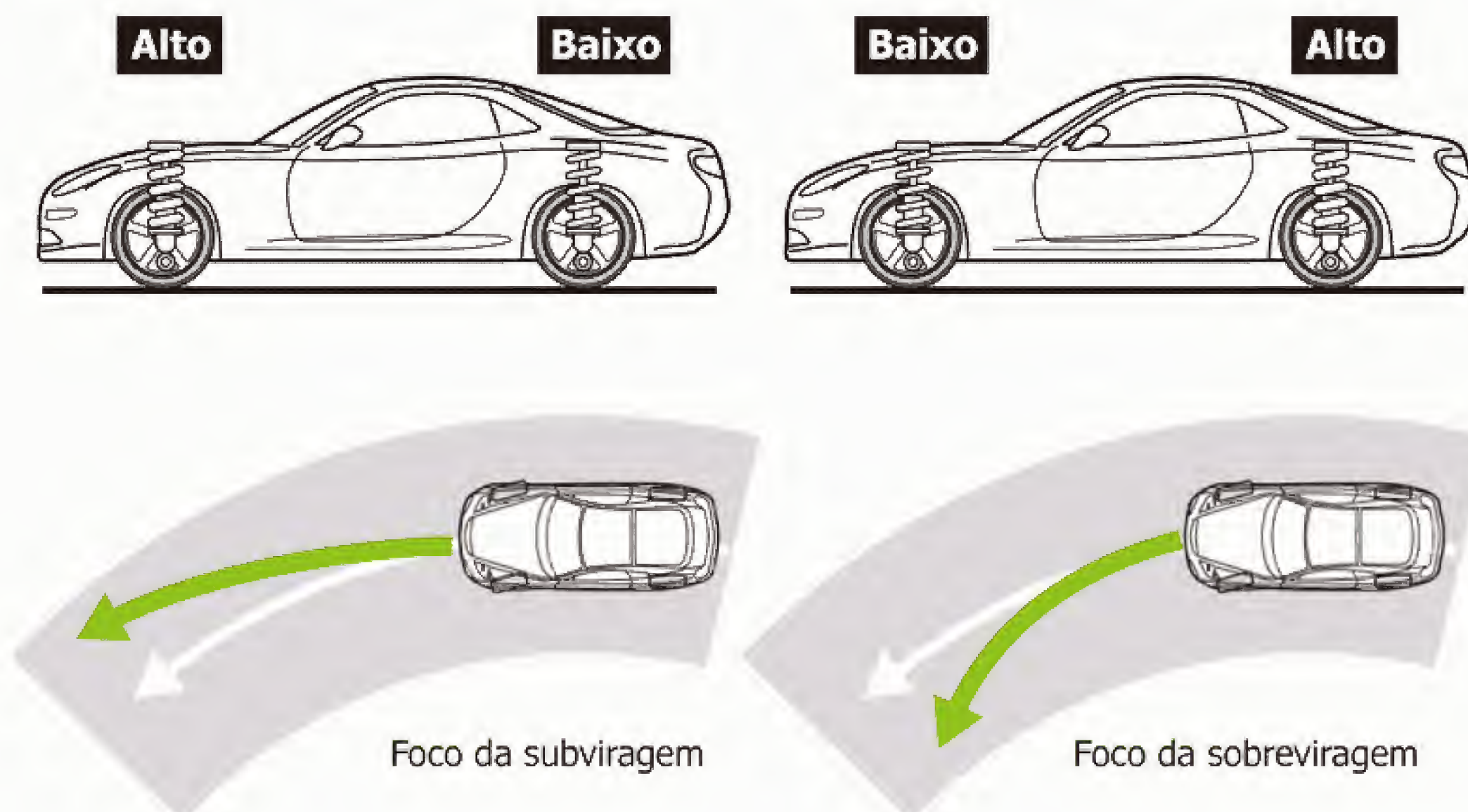
Os amortecedores controlam a velocidade em que as molas de suspensão se expandem e contraem quando é colocada carga sobre elas, e a força que exercem é conhecida como “força de amortecimento”. A força de amortecimento é gerada pela resistência criada no óleo e na gasolina vedados dentro do pistão do amortecedor ao se mover para cima e para baixo. Quanto maior a força de amortecimento, mais rapidamente o movimento das molas será suprimido. Quanto menor a força de amortecimento for, mais tempo levará para diminuir o movimento das molas.

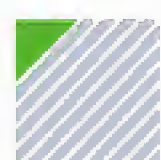
As definições da força de amortecimento para a compressão e a extensão podem ser alteradas independentemente, permitindo que o comportamento do carro e a dirigibilidade sejam controlados com mais precisão. Se a força de amortecimento for aumentada para compressão da mola, a velocidade do mergulho durante a frenagem, rolagem nas curvas e outros movimentos da carroceria serão reduzidos, mas a maior rigidez da parte inferior da carroceria aumentará a probabilidade de que as rodas saiam da estrada em condições

acidentadas, dificultando o uso eficiente da transferência de peso. Por outro lado, aumentar a força de amortecimento para a extensão da mola ajuda a atenuar mudanças significativas de movimento. Por exemplo, a elevação da dianteira do carro ao acelerar na saída de uma curva será suprimida, evitando-se que a suspensão dianteira se estenda imediatamente, mantendo o contato dos pneus dianteiros com o solo.

Características de dirigibilidade também podem ser ajustadas trocando a força de amortecimento pela compressão/extensão das molas entre as rodas dianteiras e traseiras. Se a força de amortecimento for reduzida para compressão das molas na dianteira do carro, mais carga do carro se inclinará em direção à dianteira, aumentando, por sua vez, a aderência na dianteira, compensando a subviragem. Reduzir a força de amortecimento para a extensão da mola na traseira aumentará a sobreviragem, e aumentando-a aumentará a subviragem. Uma regra prática é que a força de amortecimento para compressão das molas deve ser ajustada antes da força de amortecimento para extensão das molas.

Força de amortecimento dianteira e traseira (para compressão das molas)





Suspensão

[Alinhamento das rodas: cambagem]

O efeito positivo da cambagem negativa

O alinhamento de rodas alterado com mais frequência é a cambagem. Uma cambagem negativa se dá quando a parte inferior das rodas está mais afastada que as partes superiores, quando vistas de frente, e uma cambagem positiva se dá quando a parte inferior das rodas está apontada em direção ao centro do carro.

Ao fazer uma curva, a força centrífuga fará com que o carro se incline na direção de fora da curva. Se as rodas tiverem cambagem negativa, pensando nisso, uma parte maior da superfície do pneu estará em contato com a superfície durante a curva, e será possível atingir melhor tração. "Aumentar a cambagem" geralmente se refere ao aumento da cambagem negativa.

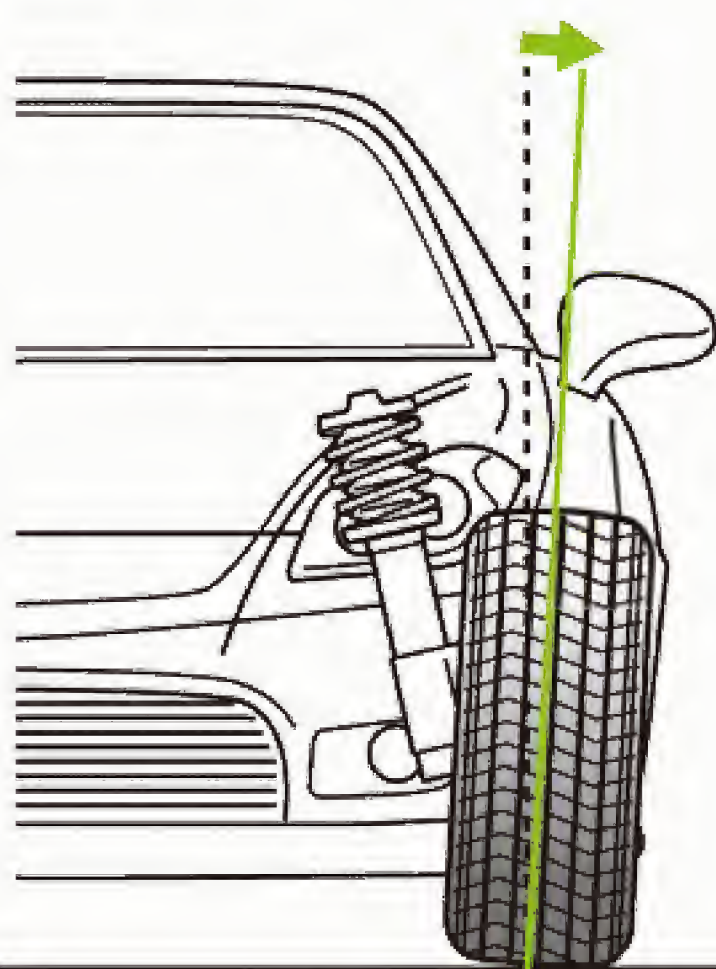
No entanto, a cambagem negativa tem desvantagens no deslocamento em linha reta. Como os pneus não ficam perpendiculares à estrada, a direção pode se desestabilizar com mais facilidade por causa de sulcos ou irregularidades na superfície da estrada, e pode ser mais difícil ganhar tração. O ângulo das rodas também aumentará a resistência, o que

prejudicará o desempenho da aceleração, e o total reduzido da superfície dos pneus em contato com o solo também aumentará as distâncias de frenagem. Quanto maior a cambagem negativa, mais fortes os efeitos negativos em linha reta, por isso, é importante pensar bastante antes de fazer alterações drásticas.

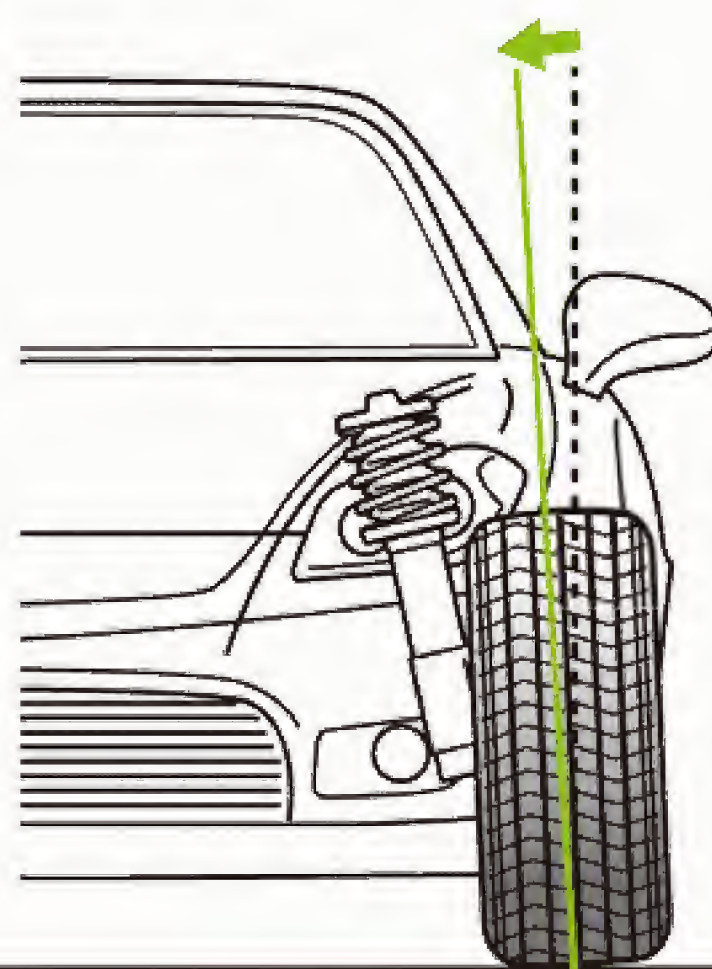
Ao aplicar a cambagem negativa, é importante considerar o efeito do equilíbrio de peso entre as rodas dianteiras e traseiras durante as curvas. Se houver muito peso na dianteira do carro, a cambagem negativa das rodas dianteiras deve ser maior e a das rodas traseiras deve ser menor. Isso reduzirá o risco de subviragem.

Quase nunca se usa cambagem positiva, pois ela reduz o nível de contato dos pneus e torna o comportamento do carro sensível em excesso.

Cambagem positiva

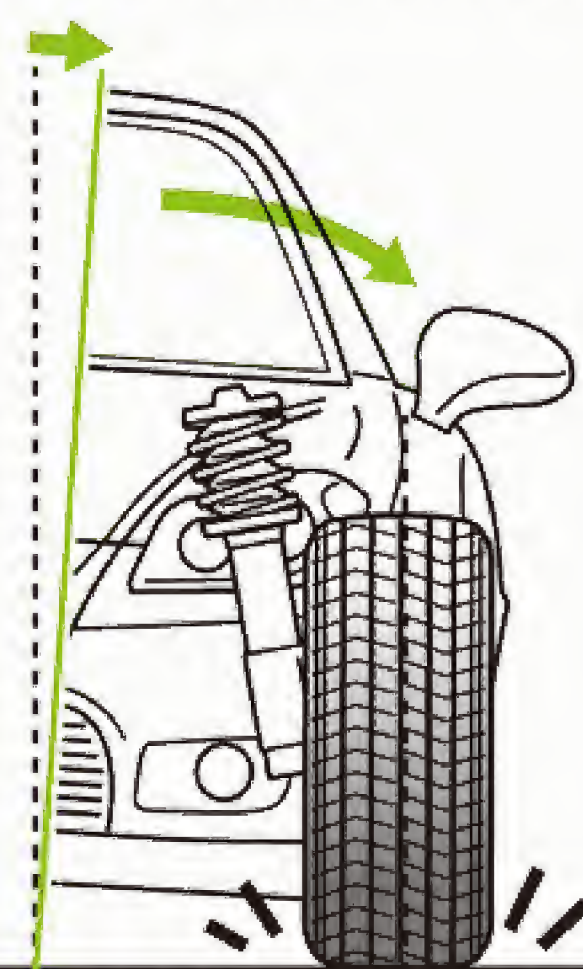


Cambagem negativa

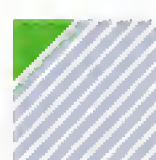


Rolagem nas curvas

A cambagem negativa aumenta o nível de aderência nas curvas.



Atingindo o nível de contato ideal



Suspensão

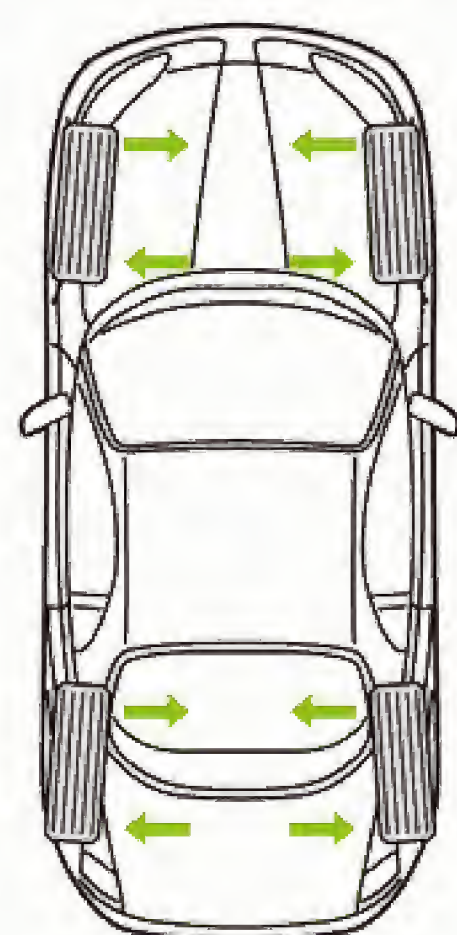
[Alinhamento das rodas/ângulo de convergência]

Um ângulo raso com um efeito profundo na estabilidade

O ângulo de convergência é o ângulo das rodas em relação ao veículo, visto de cima. Ele exerce uma função importante na manutenção da estabilidade quando o equilíbrio de peso entre os lados esquerdo e direito muda drasticamente. Por exemplo, quando o peso se move para a roda externa nas curvas, o ângulo dessa roda tem um efeito enorme no comportamento do carro. A configuração do ângulo de convergência define esse ângulo e exerce uma função importante na manutenção da estabilidade.

“Ângulo fechado” é quando a parte frontal das rodas está voltada para dentro. “Ângulo aberto” é quando a parte frontal das rodas está voltada para fora. Em termos de dirigibilidade, a configuração das rodas dianteiras para ângulo fechado e das rodas traseiras para ângulo aberto causará uma maior tendência à sobreviragem, enquanto a configuração oposta causará uma tendência à subviragem. As rodas dianteiras também são, às vezes, ajustadas para ângulo aberto para que se movam com menos irregularidade nas curvas.

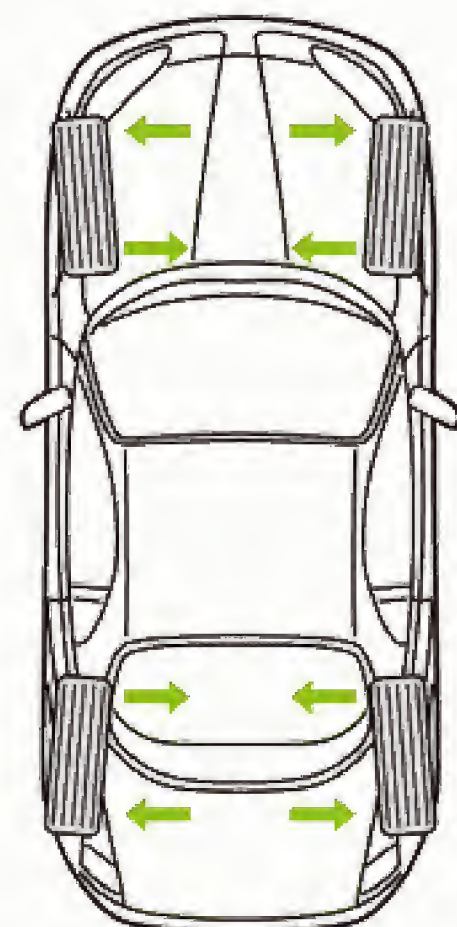
O ângulo de convergência tem forte relação com os eixos, a largura da pista, a cambagem e a potência do motor. Costuma ser o último desses a ser ajustado, e apenas para corrigir pequenos detalhes causados pelos outros fatores, ou para fazer um ajuste leve nas características de dirigibilidade. Um ângulo de convergência excessivo causará muita resistência, por isso, os ajustes são sempre muito pequenos. Alterações no ângulo de convergência das rodas traseiras, em especial, podem ter um impacto considerável no desempenho de condução e dirigibilidade e, por isso, o ângulo nas rodas dianteiras geralmente é ajustado primeiro, e apenas pequenos ajustes são feitos às rodas traseiras.



F Ângulo fechado

Reação dianteira
→ Alta
tendência à subviragem.

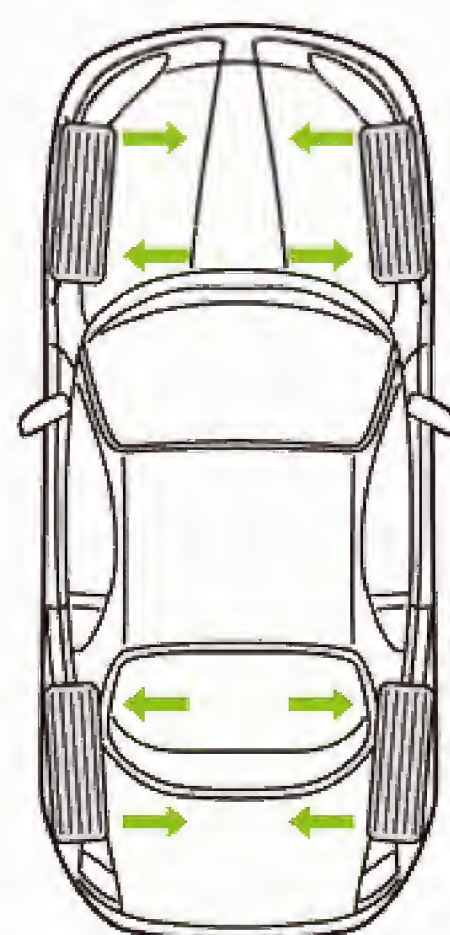
R Ângulo fechado



F Ângulo aberto

Reação dianteira
→ Baixa
tendência à subviragem.

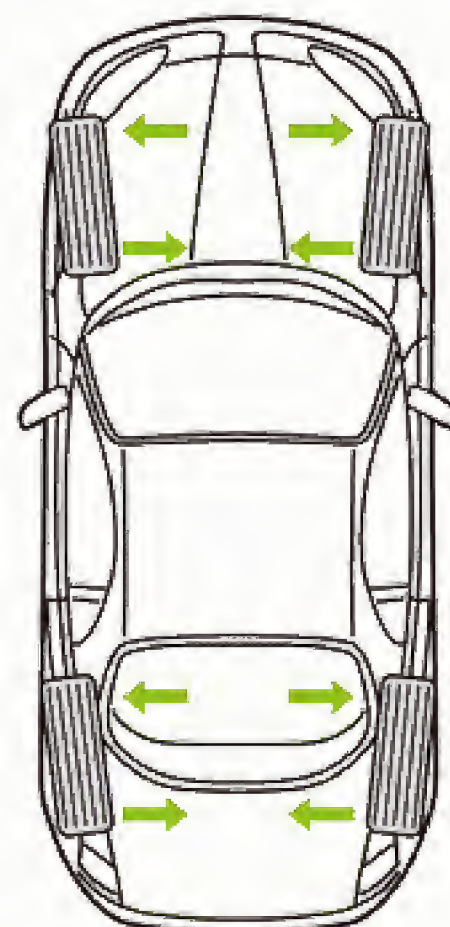
R Ângulo fechado



F Ângulo fechado

Reação dianteira
→ Alta
tendência à sobreviragem.

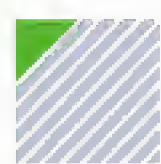
R Ângulo aberto



F Ângulo aberto

Reação dianteira
→ Baixa
tendência à sobreviragem.

R Ângulo aberto



Suspensão

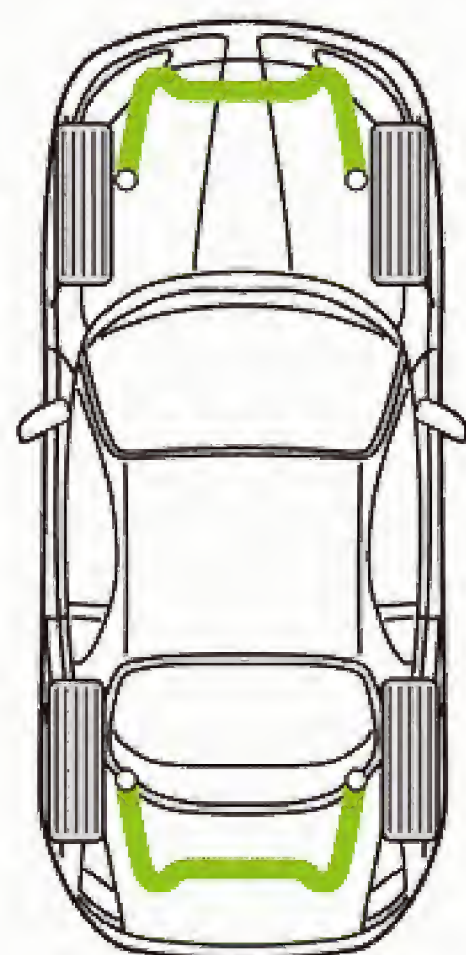
[Rigidez da barra antioscilação/estabilizador]

Um ajuste final

A barra antioscilação é uma barra de torção que conecta os braços inferiores das suspensões esquerda e direita. A mola da barra de torção é uma barra de metal que utiliza a resistência da força de torção aplicada sobre ela. Quando a suspensão em um lado se move nas curvas, a resistência da suspensão do outro lado neutraliza esse movimento, reduzindo a rolagem e, com isso, mantendo uma parte maior da superfície do pneu em contato com o solo. A rigidez dessa barra é representada por uma elasticidade da mola semelhante à da mola da suspensão, e o aumento da rigidez da barra antioscilação dianteira melhora a resposta de direção.

Ao ajustar a barra antioscilação, é importante não deixar a elasticidade da mola maior do que a da mola da suspensão. Se a barra antioscilação for mais forte, a mola da suspensão não terá força suficiente para superá-la, e, quando o peso se mover para a roda externa, a suspensão interna será erguida com a barra antioscilação, fazendo com que a roda interna saia da pista, resultando em perda de tração.

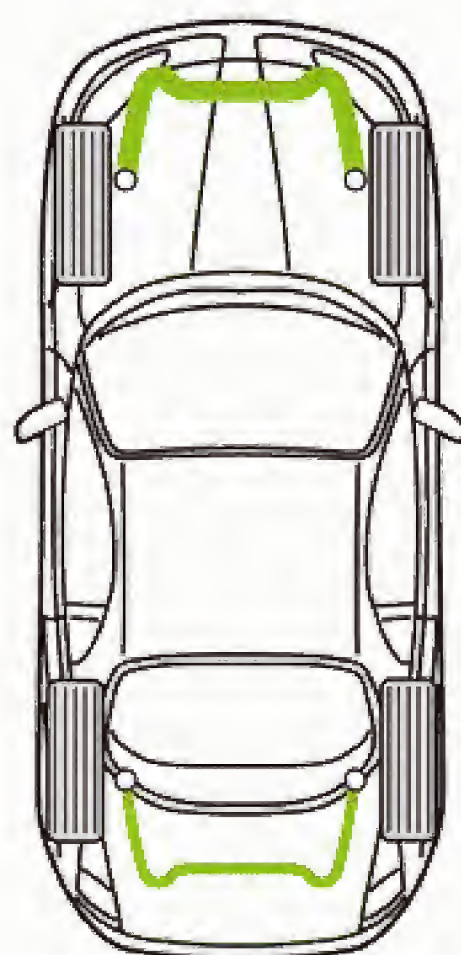
Também é possível ajustar a dirigibilidade alterando a elasticidade das molas das barras antioscilação dianteira e traseira, mas esses tipos de ajustes geralmente devem ser feitos alterando apenas a elasticidade das molas da suspensão e a força de amortecimento dos amortecedores. A adição da rigidez da barra antioscilação à equação gera uma complicação desnecessária, dificultando a obtenção do resultado desejado. Ajustes da rigidez da barra antioscilação devem ser vistos como um ajuste final, em vez de um método de adaptação em si.



F Forte

Reação dianteira
→ Alta
tendência à sobreviragem

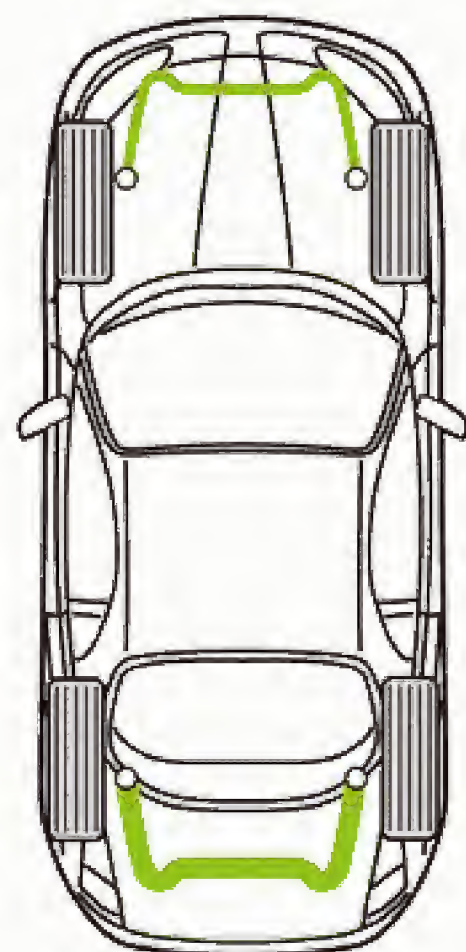
R Forte



F Forte

Reação dianteira
→ Alta
tendência à subviragem

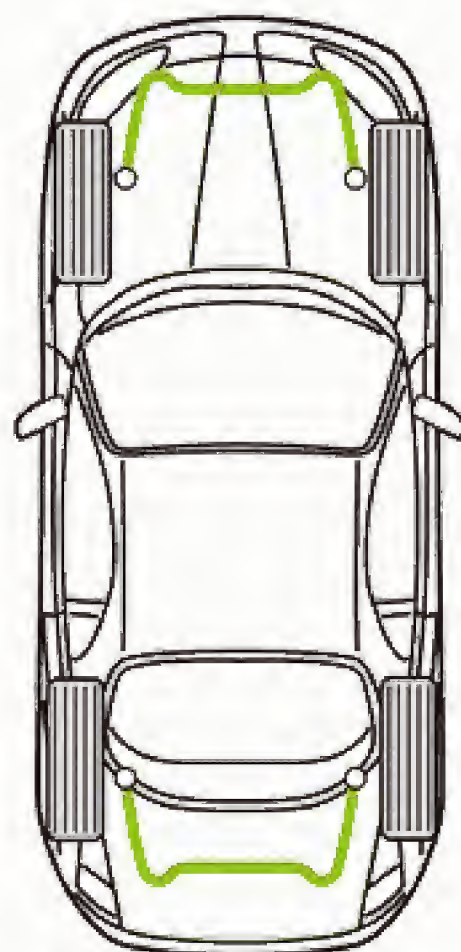
R Fraca



F Fraca

Reação dianteira
→ Baixa
tendência à sobreviragem

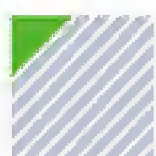
R Forte



F Fraca

Reação dianteira
→ Baixa
tendência à subviragem

R Fraca



Transmissão [LSD]

A alteração do limite muda a manobrabilidade

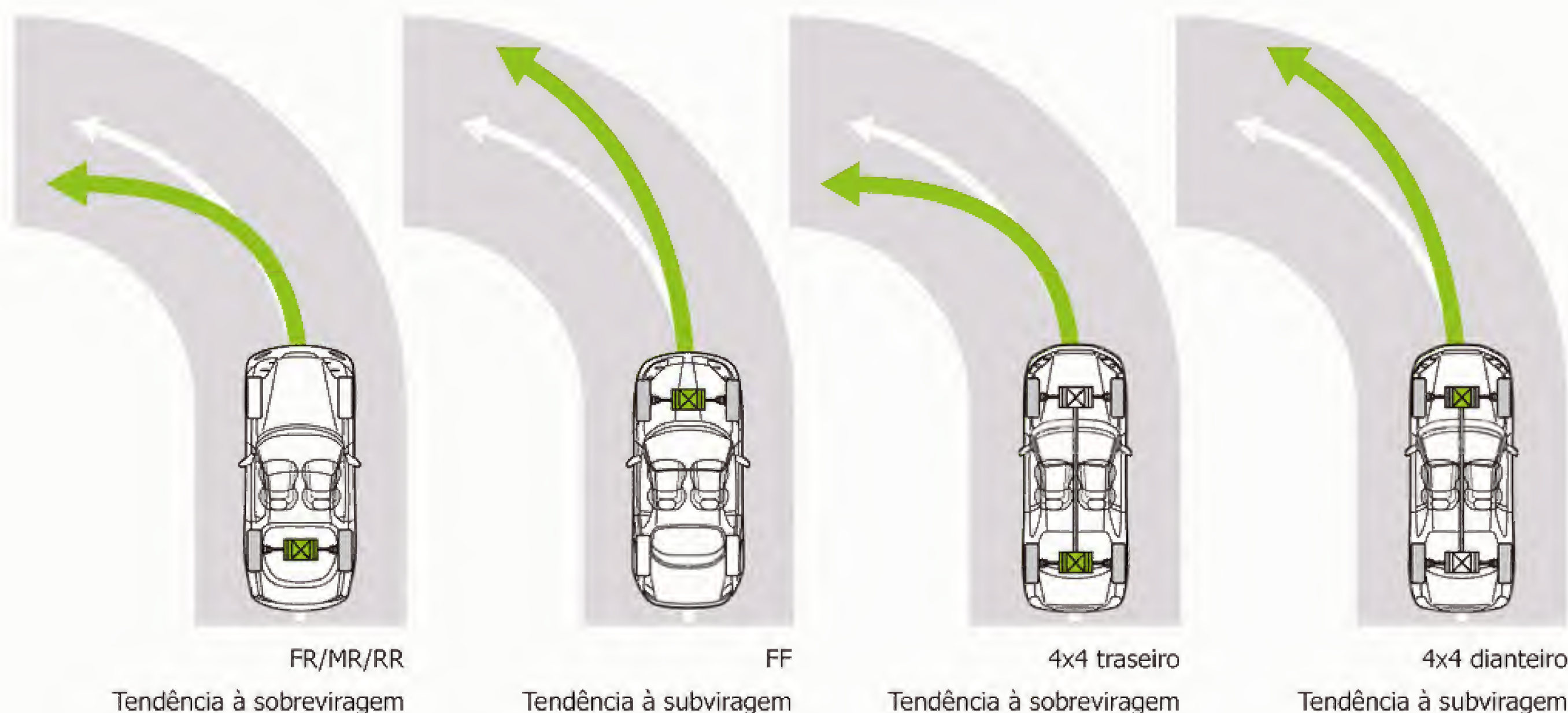
O torque inicial decide o ponto em que o LSD entra em ação. Quando maior ele for, maior será a facilidade de bloqueio do LSD e mais responsiva será a aceleração. Quanto menor o torque inicial, mais tempo levará para que o LSD entre em ação.

Em termos gerais, o aumento do torque inicial acentuará as peculiaridades de dirigibilidade do layout de transmissão de um veículo. Portanto, a sobreviragem será aumentada em carros com tração traseira e a subviragem será aumentada em carros com tração dianteira. Embora isso aumente a tração nos dois casos, ficará mais difícil fazer curvas. Sendo assim, ajustes do torque inicial devem ser feitos considerando os requisitos desejados de dirigibilidade.

Outra configuração que pode ser ajustada é o comportamento do LSD durante a aceleração e a desaceleração. A configuração de aceleração governa a eficácia do LSD quando o acelerador está pressionado: quanto mais forte, mais potência

de direção é transmitida às rodas e maior será a velocidade do carro nas curvas. Entretanto, isso também acentuará qualquer peculiaridade de dirigibilidade, e fazer com que o carro aponte na direção necessária para sair da curva pode exigir alguma habilidade.

A configuração de desaceleração governa a eficácia do LSD quando o acelerador é liberado. Quanto mais forte for, mais estável será na entrada de uma curva ao frear. O que permite a você entrar em uma curva mais rápido, pois pode manter a frenagem por mais tempo do que conseguiria em outra situação. Mas isso dificultará as curvas casuais e só é recomendado para pilotos avançados, que conseguem compensar a subviragem inicial.



Ajuste do comportamento nas curvas

Transmissão

[Relação de marchas]

Manutenção da potência com uma relação da relação próxima

Os carros de corrida precisam andar em todos os tipos de circuito, desde pistas sinuosas, cheias de curvas, até pistas que contêm retas longas e de alta velocidade. Para obter o melhor desempenho do seu motor em uma determinada pista, muitas vezes é necessário mudar a relação da marcha da transmissão. Isso normalmente envolve a mudança da última marcha e das marchas da própria transmissão.

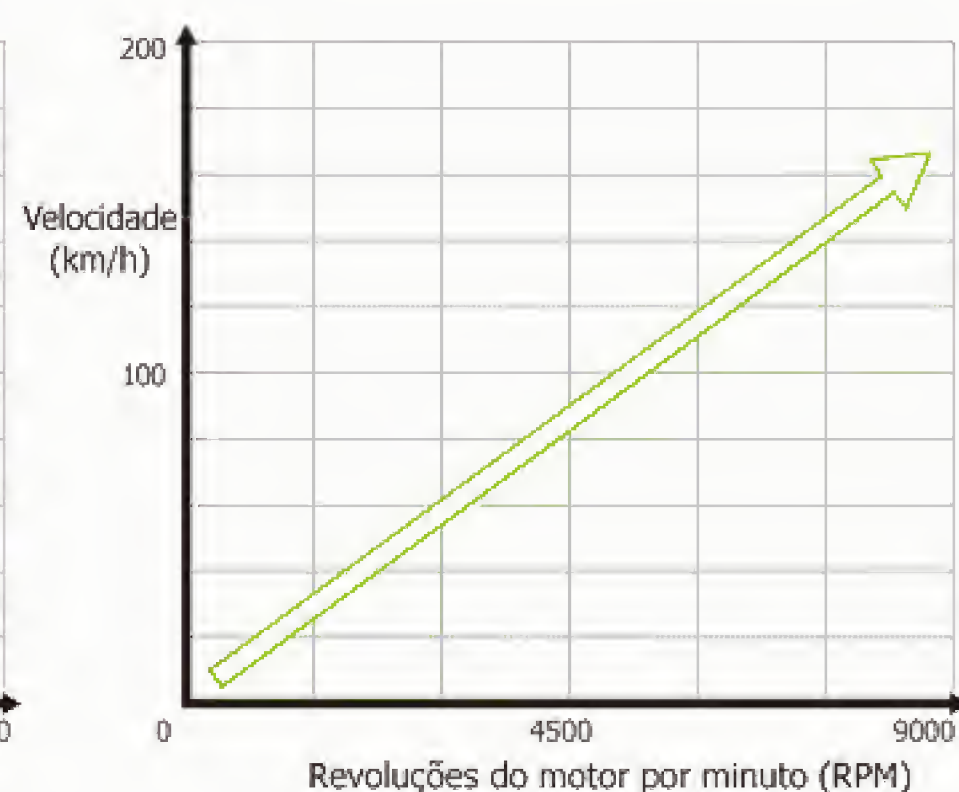
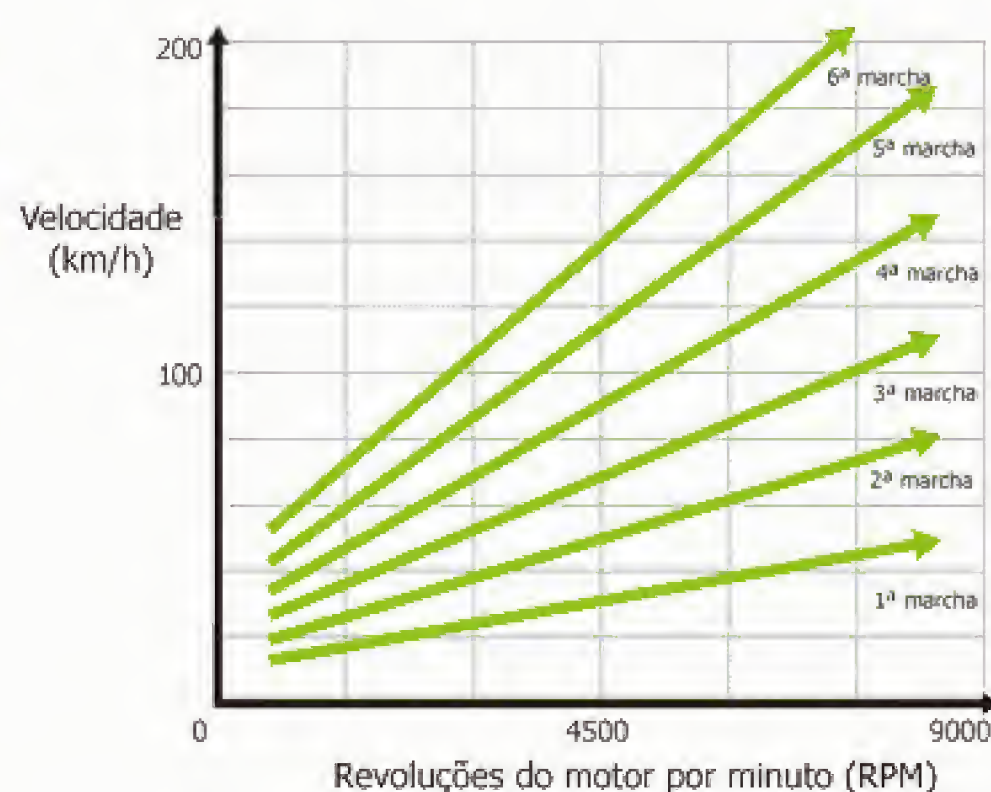
Ao pilotar em uma pista com várias curvas de baixa e média, você deve concentrar-se em acelerar ao sair das curvas, em vez de em atingir altas velocidades. Nesses momentos, uma transmissão que consiste em marchas de relações semelhantes permitirá que você permaneça dentro da potência do motor com mais facilidade. Esse tipo de configuração de marchas é conhecido como "relação próxima".

Por outro lado, em uma pista com várias retas longas que enfatizam a alta velocidade, você precisará de uma configuração que aumente a velocidade máxima usando relações mais próximas para a 5ª e a 6ª marchas. Esse tipo de configuração de marchas é conhecido como "relação ampla".

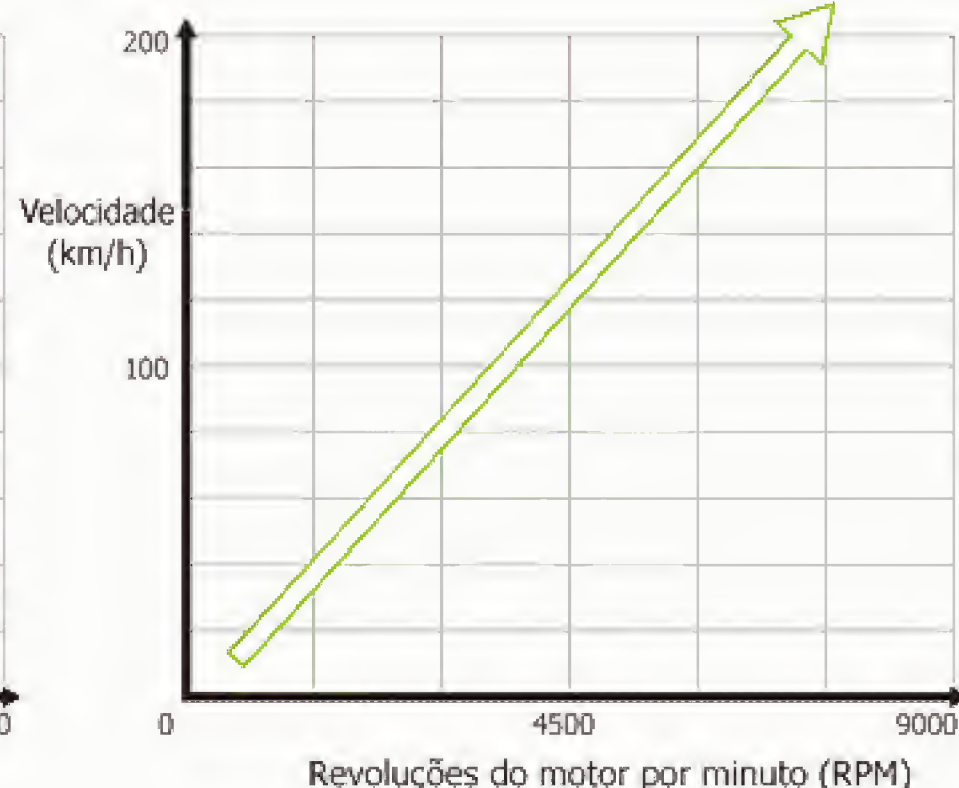
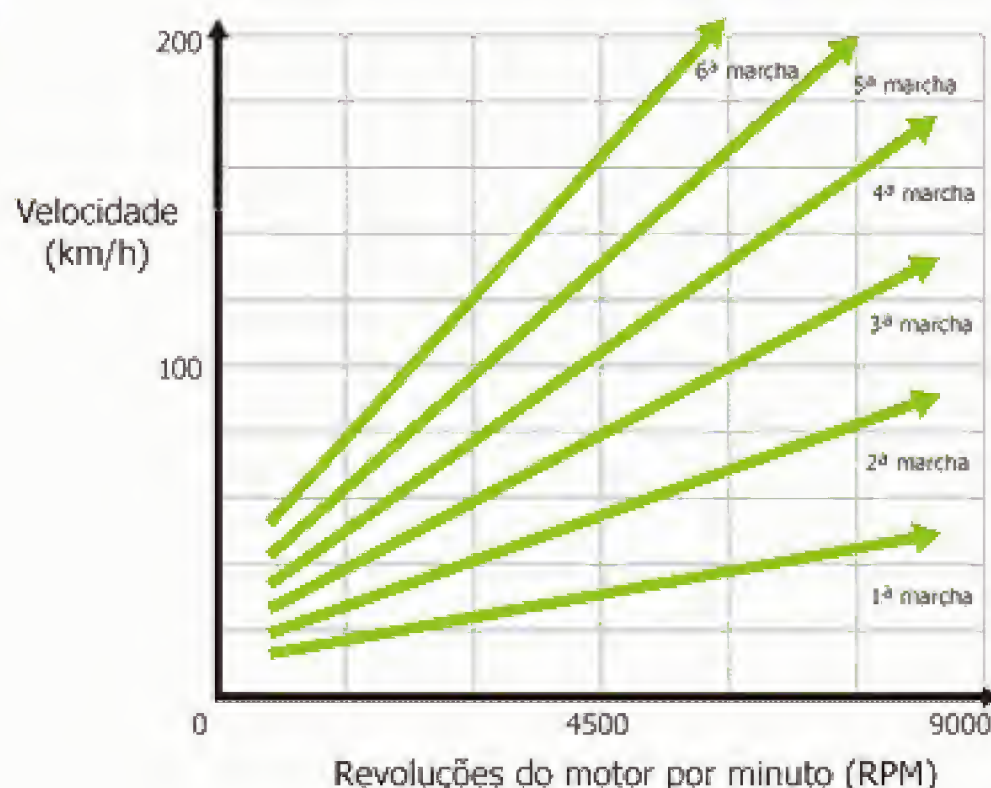
A relação da marcha da última marcha afeta o modo como a transmissão se comporta. Se a última marcha ficar menor com o mesmo conjunto de marchas de transmissão, a aceleração ficará melhor, mas a velocidade máxima será reduzida, enquanto uma última marcha maior aumentará a velocidade máxima à custa da aceleração. Quando você começa a ajustar as marchas pela primeira vez, deve mudar somente a última marcha para obter um ajuste fácil. Recomenda-se configurar a marcha de forma que o motor alcance a revolução limite na última marcha da transmissão, no fim da reta na pista.

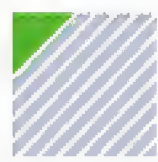


Em uma pista com várias curvas, a aproximação entre as relações de todas as marchas muda o foco para o desempenho da aceleração



Em circuitos de alta velocidade com retas longas, o aumento da relação das marchas colocará o foco sobre o aumento da velocidade máxima





Aerodinâmica

[Força descendente]

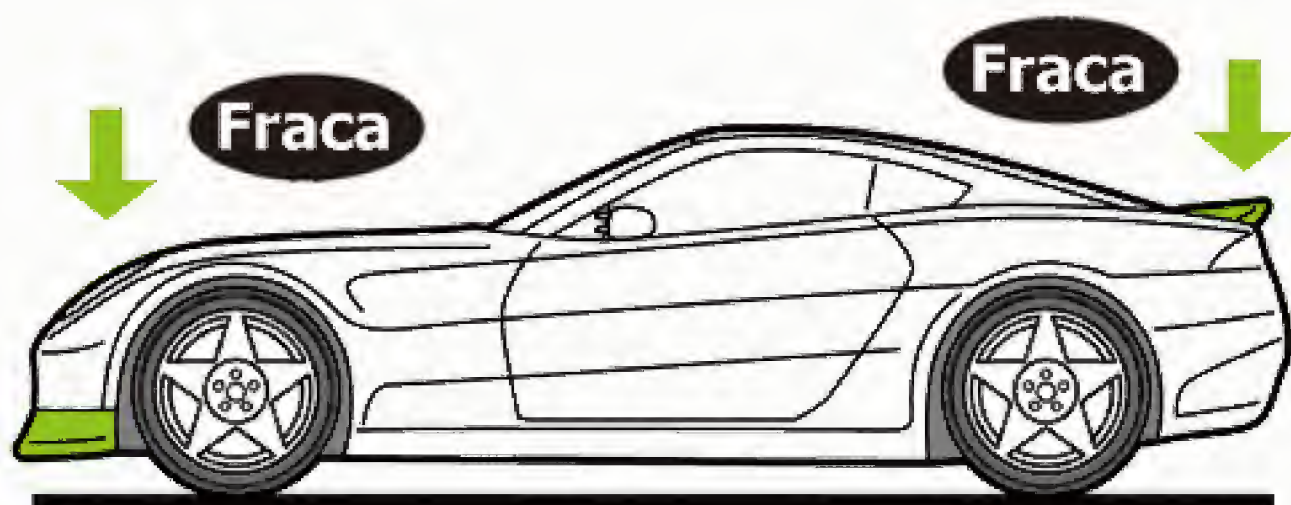
■ Melhorando o desempenho de alta velocidade

É impossível ignorar os efeitos do ar ao pilotar em alta velocidade. Esses efeitos podem ser divididos em duas categorias: resistência do ar, que limita a velocidade máxima, e elevação, na qual o movimento do ar ergue o carro acima do chão. Esses dois fatores estão intimamente relacionados: reduzir a resistência do ar aumenta a elevação, e reduzir a elevação aumenta a resistência do ar. Portanto, é necessário atingir um equilíbrio meticuloso entre os dois.

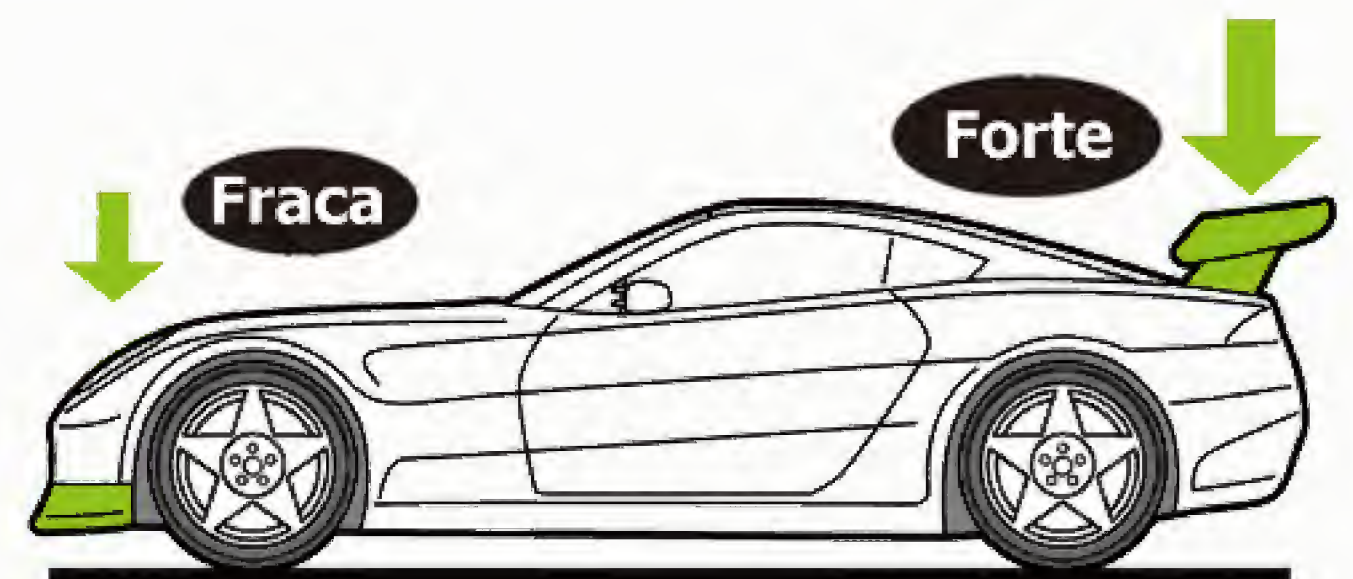
Uma preocupação essencial no ajuste que lida com o movimento do ar em alta velocidade é o melhor aproveitamento da força descendente. A força descendente é a força exercida quando a resistência do ar empurra o carro para baixo, aumentando o contato com a estrada. O aumento da força descendente reduz a velocidade máxima, mas melhora a estabilidade e aumenta a velocidade nas curvas, especialmente em curvas de alta velocidade. Reduzir a força descendente, por outro lado, reduz a velocidade nas curvas, mas permite que o carro se mova muito mais rapidamente nas retas.

O valor necessário de força descendente é ditado pela natureza do percurso e, por mais que possa parecer, uma grande força descendente desde o início não produz uma boa configuração. A maneira ideal de preparar o carro é realizar muitas configurações com o mínimo de força descendente e aumentá-la gradualmente de acordo com a importância das curvas de alta velocidade. Para carros com cilindradas baixas, a melhor abordagem geralmente é maximizar a velocidade, reduzindo a força descendente para zero.

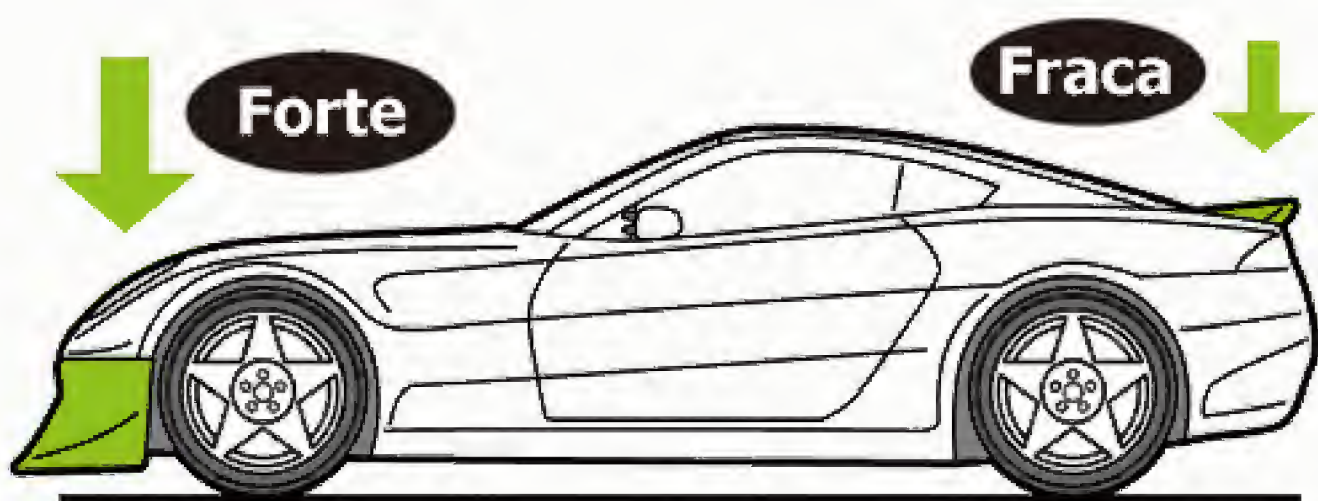
Variações da força descendente dianteira e traseira também podem ser usadas para alterar as características de dirigibilidade em curvas de alta velocidade. Aumentar a força descendente na parte dianteira aumenta a aderência das rodas dianteiras, aumentando a sobreviragem, enquanto que uma maior força descendente na traseira tem o efeito contrário, aumentando a subviragem. Ajustes desse tipo podem fazer toda a diferença em circuitos de alta velocidade.



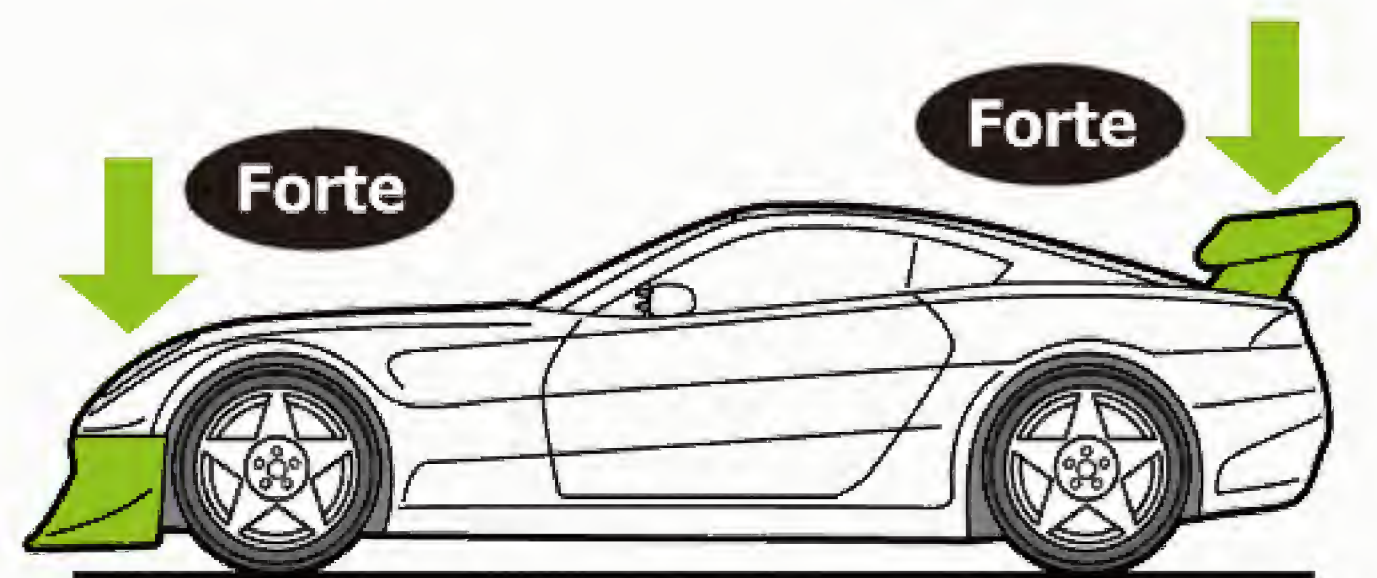
Velocidade máxima → aumenta
Controle → diminui



Velocidade máxima → aumenta um pouco
Tendência à subviragem



Velocidade máxima → aumenta um pouco
Tendência à sobreviragem



Velocidade máxima → diminui
Controle → aumenta

Configurações para situações específicas

Um motivo importante para fazer o ajuste do seu carro é o de lidar com pistas ou condições específicas. Alguns ajustes leves de suspensão e transmissão podem fazer uma diferença surpreendente na dirigibilidade do seu carro em uma pista específica.



Circuito de alta velocidade

Melhorando a velocidade máxima

A configuração ideal para um circuito de alta velocidade é uma que permita que o carro faça curvas de alta velocidade o mais rápido possível. A suspensão e os amortecedores precisam ser firmes, e a altura ao solo, baixa. No entanto, se a altura ao solo for tão baixa que as molas não consigam se mexer o suficiente, a suspensão estará rígida demais para absorver o impacto dos solavancos e ondulações na estrada, anulando quaisquer efeitos positivos. Usando molas de suspensão mais rígidas, ao reduzir a rigidez das barras antioscilação, cria-se um pequeno giro que mantém as rodas em contato com a estrada. Por outro lado, ao suavizar um pouco as molas, tendo em mente uma estrada de superfície irregular, firmar as barras antioscilação ajuda a combater um giro excessivo. Basicamente, a ideia é que as barras antioscilação compensem as deficiências das molas.

O alinhamento das rodas também é importante. Aumentar o ângulo fechado traseiro é uma boa maneira de melhorar a estabilidade. A cambagem deve ser pelo menos levemente negativa, mas o pneu também deve ter o máximo de contato possível com a pista ao dirigir rápido em retas e também para frear com força, então o melhor é não exagerar.

Quanto às relações de marchas, o objetivo é sempre o mesmo: manter o carro dentro da curva de potência o máximo possível. A última marcha deve ser configurada em uma relação que permita que a marcha mais alta só atinja a linha vermelha no fim de retas longas. Quanto à força descendente, deve-se usar o menor valor possível para maximizar a velocidade nas retas, mas é preciso certificar-se de que não há perda de estabilidade nas curvas e freadas.

Configurações de suspensão sugeridas

| | | DIANTEIRA | TRASEIRA |
|-----------------------|------------------------|-----------|----------|
| Altura ao solo | | Baixa | Baixa |
| Amortecedores | Extensão | Forte | Forte |
| | Compressão | Forte | Forte |
| Elasticidade da mola | | Dura | Dura |
| Alinhamento das rodas | Ângulo de convergência | 0 | Fechado |
| | Cambagem | Negativa | 0 |
| Barra antioscilação | | Dura | Dura |

※ Dependendo do carro, essas configurações podem não ser possíveis..

Obtendo o melhor desempenho



Percursos técnicos

Transferência eficiente de potência para a estrada

Para um percurso técnico com muitas curvas fechadas, o objetivo é preparar um carro que faça curvas rápido e consiga acelerar na saída das curvas com o mínimo de perda de potência. A primeira coisa a fazer é configurar a altura ao solo a um nível apropriado ao percurso, que deve ser o mais baixo possível sem que isso cause problemas.

As molas dianteiras devem ser amaciadas, e as molas traseiras, endurecidas (moderadamente em carros com tração traseira) para possibilitar melhores curvas, e os amortecedores devem ser preparados com o mesmo objetivo. Em termos de alinhamento, as rodas dianteiras devem ser preparadas em um ângulo levemente fechado se o piloto quiser priorizar a reação inicial nas curvas, mas menos fechado se a ênfase for a sensação de direção no ápice da curva e depois dele.

A cambagem negativa deve ser usada com moderação, pois a tração precisa ser mantida na frenagem e nas curvas.

A troca de marchas deve ser configurada com uma relação próxima para manter as revoluções em vez de priorizar a velocidade máxima, e a relação da última marcha deve ser baixa, para permitir uma aceleração rápida.

Se for possível modificar o motor totalmente, o objetivo, em vez de atingir a potência máxima a altas revoluções, deve ser atingir o torque máximo a velocidades baixas e médias, o que melhora a aceleração na saída de curvas. A força descendente dianteira e traseira deve ser o mais alta possível, pois a aerodinâmica do carro deve poder sustentar a estabilidade nas curvas em vez de aumentar a velocidade máxima.

Configurações de suspensão sugeridas

| | | DIANTEIRA | TRASEIRA |
|-----------------------|------------------------|-----------|----------|
| Altura ao solo | | Baixa | Alta |
| Amortecedores | Extensão | Forte | Fraca |
| | Compressão | Forte | Fraca |
| Elasticidade da mola | | Dura | Fraca |
| Alinhamento das rodas | Ângulo de convergência | 0 | Fechado |
| | Cambagem | 0 | 0 |
| Barra antioscilação | | - | - |

※ Dependendo do carro, essas configurações podem não ser possíveis..



Neutralização da subviragem

Entendendo por que o carro se recusa a virar

Comece identificando quando a subviragem ocorre, seja na entrada de uma curva, próximo do ápice da curva ou na aceleração.

Se a subviragem ocorre na entrada de uma curva, a aderência dos pneus dianteiros precisa ser aumentada o máximo possível. Isso pode ser feito suavizando as molas da suspensão dianteira e aumentando o lado da extensão do amortecedor, enquanto o reduz para a compressão da mola a fim de incentivar o movimento da carga para frente.

Além de fatores relacionados à suspensão, um LSD muito sensível também pode causar a subviragem neste estágio de uma curva, e diminuir a relação de travamento e o torque inicial do LSD pode ser uma boa solução para isso. Se estiver usando um LSD bidirecional (um que é acionado estando o acelerador pressionado ou não) em um carro de tração traseira, tente alterar para um sistema unidirecional que não seja acionado na

desaceleração. Em pistas com curvas de alta velocidade, aumentar a força descendente dianteira para aumentar a aderência das rodas dianteiras também pode ser eficiente.

Se a subviragem estiver ocorrendo na aproximação do ápice da curva, a cambagem negativa deve ser aumentada a fim de garantir que uma parte maior do pneu esteja em contato com o solo. Reduzir o ângulo fechado da roda traseira também ajuda a equilibrar a aderência e, se possível, aumentar a largura do eixo na parte dianteira também pode ser eficiente.

Se a subviragem ocorrer em carros de tração traseira na aceleração da saída de curvas, ela pode ser neutralizada com a redução da altura ao solo na dianteira, o aumento da força de amortecimento para a extensão nos amortecedores dianteiros e para a compressão na traseira. Se ela ocorrer em um carro com tração dianteira, ela pode ser combatida aumentando-se o efeito do LSD.

Configurações de suspensão sugeridas

| | | DIANTEIRA | TRASEIRA |
|-----------------------|------------------------|-----------|----------|
| Altura ao solo | | Baixa | Alta |
| Amortecedores | Extensão | Forte | Forte |
| | Compressão | Fraca | Forte |
| Elasticidade da mola | | Fraca | Dura |
| Alinhamento das rodas | Ângulo de convergência | Fechado | 0 |
| | Cambagem | Negativa | 0 |
| Barra antioscilação | | Fraca | Dura |

※ Dependendo do carro, essas configurações podem não ser possíveis..



Neutralização da sobreviragem

O problema de trações traseiras

Carros de tração dianteira e 4x4 raramente sofrem com sobreviragem. Esse problema afeta quase que exclusivamente carros de tração traseira.

Se quiser simplesmente ter o controle máximo da sobreviragem, por exemplo, para um evento de drift, então tanto a suspensão dianteira quanto a traseira devem ser endurecidas a fim de aumentar o controle sobre o nível de derrapagem da traseira. Porém, em uma prova de tempo ou evento de corrida semelhante, você precisará tomar medidas para manter a tração a fim de manter o carro se deslocando para frente.

O motivo principal da sobreviragem indesejada é a perda de tração traseira, quando o acelerador é aplicado, o que faz com que a potência seja desperdiçada no movimento lateral em vez de acelerar.

A elasticidade da mola e a força de amortecimento podem ser ajustadas para neutralizar esse efeito. As molas traseiras devem ser amaciadas e a taxa de amortecimento dos amortecedores diminuída para a compressão e aumentada para a extensão. Pode também ser benéfico reduzir a dureza da barra antioscilação a fim de aumentar o movimento da carga para a roda interna. Se possível, a largura do eixo traseiro também deve ser aumentada. Se a suspensão dianteira for muito macia, o peso da traseira pode ser transferido para frente muito facilmente, então a suspensão dianteira deve ser endurecida a fim de aumentar a aderência na traseira.

Se houver um spoiler traseiro, o ângulo deve ser aumentado a fim de aumentar a força descendente. Porém, isso significará uma pequena perda de velocidade máxima.

Configurações de suspensão sugeridas

| | | DIANTEIRA | TRASEIRA |
|-----------------------|------------------------|-----------|----------|
| Altura ao solo | | Alta | Baixa |
| Amortecedores | Extensão | Forte | Forte |
| | Contração | Forte | Fraca |
| Elasticidade da mola | | Dura | Fraca |
| Alinhamento das rodas | Ângulo de convergência | - | Fechado |
| | Cambagem | - | Negativa |
| Barra antioscilação | | - | Fraca |

※ Dependendo do carro, essas configurações podem não ser possíveis..



Condições de chuva

Tirando o melhor dos pneus

Como é de se esperar, quando chove, o coeficiente de atrito (μ) da superfície da estrada é reduzido, juntamente com a aderência. Vamos analisar algumas configurações que podem ser ajustadas a fim de lidar melhor com condições de chuva.

A rigidez da barra antioscilação, a elasticidade da mola e a força de amortecimento devem ser configuradas em um nível menor do que seriam em condições de pista seca e, em alguns casos, a barra antioscilação traseira pode ser removida. Uma suspensão dura dificultará a permanência em contato das rodas com o solo, podendo fazer com que o carro derrape repentinamente. A suspensão dura aumenta a aderência quando a aderência da estrada é boa, mas em condições de chuva, quando a aderência é ruim, a suspensão mais macia é a melhor. A cambagem deve ser levemente diminuída, mais que em condições de pista seca, para garantir que uma maior parte dos pneus mantenha o contato com o solo durante a aceleração e a desaceleração. Em carros nos quais é possível fazer ajustes

aerodinâmicos, a força descendente dianteira e traseira deve ser aumentada a fim de maximizar a aderência.

Um dos ajustes para clima de chuva mais simples é ajustar a pressão do pneu. Em chuvas fortes, o aumento da pressão do pneu colocará uma menor parte da superfície do pneu em contato com o solo, aumentando a carga na parte do pneu que toca o solo e evitando, assim, a aquaplanagem. Por sua vez, em chuva fraca, reduzir a pressão do pneu pode aumentar o desempenho. Alterar a pressão do ar dos pneus dianteiros e traseiros é uma maneira rápida e fácil de fazer o ajuste fino da quantidade de aderência que eles proporcionam, sendo geralmente um dos primeiros ajustes feitos.

Se for possível modificar o motor totalmente, a ênfase deve ser dada ao torque baixo e médio em vez de à potência máxima. Confiar mais em dispositivos de controle eletrônicos também pode aumentar o desempenho em condições de chuva, e pode ser surpreendente ver quanta diferença um sistema eletrônico de controle de frenagem pode ter.

Configurações de suspensão sugeridas

| | | DIANTEIRA | TRASEIRA |
|-----------------------|------------------------|-----------|----------|
| Altura ao solo | | Baixa | Baixa |
| Amortecedores | Extensão | Fraca | Fraca |
| | Compressão | Fraca | Fraca |
| Elasticidade da mola | | Fraca | Fraca |
| Alinhamento das rodas | Ângulo de convergência | Fechado | Fechado |
| | Cambagem | Negativa | Negativa |
| Barra antioscilação | | Fraca | Fraca |

※ Dependendo do carro, essas configurações podem não ser possíveis..



Cascalho

Melhorando o controle

O aspecto mais importante na configuração de um carro para pilotagem em cascalho é permitir um controle flexível. A condição de superfícies não pavimentada geralmente é imprevisível, e alterar sua linha de direção, mesmo que ligeiramente, pode levar a áreas onde o coeficiente de atrito é completamente diferente. O carro também arremessará areia, terra e cascalho durante o percurso, alterando completamente a natureza da superfície da estrada para os veículos que o seguem. Se um carro estiver ajustado somente para superar os limites de seu desempenho, como aconteceria em uma pista uniforme, ele não teria a flexibilidade para lidar com mudanças repentinas na superfície da estrada.

Uma maneira de fazer o ajuste para estradas com superfícies desse tipo é objetivar uma configuração que fará com que a parte dianteira do carro vire para dentro quando o pé do piloto for tirado do acelerador, mas que terá direção neutra (ou seja,

sem sobreviragem ou subviragem) quando o acelerador for aplicado. Isso é o que pode ser chamado de configuração de “sobreviragem”, que permite que, em alguma medida, as curvas sejam controladas por meio da aceleração. Ela pode ser obtida com o uso de um LSD bidirecional e com o ajuste do equilíbrio da potência de frenagem entre a dianteira e a traseira.

As contramedidas de sobreviragem e subviragem podem ser abordadas da mesma maneira em pistas de cascalho e em pistas pavimentadas. A altura ao solo depende completamente da superfície da estrada, a menor ainda é melhor, mas solavancos, pedras e outros obstáculos significam um maior risco de danos ao carro. Em pistas com saltos, a aerodinâmica deve ser equilibrada de forma que o carro mantenha uma boa posição quando estiver no ar. Os motores devem ser ajustados para fornecer o máximo de resposta em vez de potência máxima.

De forma geral, obter uma boa velocidade em cascalho depende do mesmo conjunto de técnicas de pilotagem que na pista.

Configurações de suspensão sugeridas

| | | DIANTEIRA | TRASEIRA |
|-----------------------|------------------------|-----------|----------|
| Altura ao solo | | Alta | Alta |
| Amortecedores | Extensão | Forte | Forte |
| | Compressão | Forte | Forte |
| Elasticidade da mola | | Rígida | Rígida |
| Alinhamento das rodas | Ângulo de convergência | Fechado | 0 |
| | Cambagem | Negativa | Negativa |
| Barra antioscilação | | Fraca | Rígida |

※ Dependendo do carro, essas configurações podem não ser possíveis..

| ÍNDICE DE PALAVRAS-CHAVE | Análise: AJUSTES E CONFIGURAÇÕES |
|--------------------------|--|
| A | <p> Aerodinâmica 165 Ajuste aerodinâmico 154 Ajuste do torque inicial 145 Alta compressão 134 Altura ao solo 158 Amortecedores 150 Ângulo aberto 161 Ângulo de convergência 161 Ângulo fechado 161 Aquaplanagem 170 Aro e cobertura 142 Aumento da compressão 134 Aumento da taxa de compressão 135 Aumento de cilindrada 130 Aumento de pressão 136 Aumento do curso 130 Aumento do tamanho da turbina 137 </p> |
| B | <p> Balanceamento 131 Barra estabilizadora 146 Barras antioscilação 151 Bidirecional 145 </p> |
| C | <p> Cabeçote do cilindro 135 Câmara de combustão 134 Cambagem negativa 160 Cascalho 171 Circuitos de alta velocidade 166 Combustão anormal 134 Composto 153 Compressão das molas [força de amortecimento] 159 Condições de chuva 170 Configuração das vedações 139 </p> |
| D | <p> Discos de freio grandes 149 Dispositivos de indução forçada 136 Distribuição de peso 156 </p> |
| E | <p> Eixo de cames 133 Eixo de cames de alta suspensão 133 Eixos de transmissão leves 143 Elasticidade da mola 158 Evitar a fadiga dos freios 148 Extensão [força de amortecimento] 159 </p> |
| F | <p> Filtro de ar 129 Força de amortecimento 159 Força descendente 154,165 </p> |
| I | <p> Intercooler 137 </p> |
| L | <p> Levantamento da roda interna 162 LSD mecânico 144 </p> |
| M | <p> Molas 150 </p> |
| N | <p> Neutralização da sobreviragem 169 Neutralização da subviragem 168 </p> |
| O | <p> Óleo do motor 129 </p> |
| P | <p> Padrão da banda de rodagem 153 Pastilhas de freio 148 Percursos técnicos 167 Perfil baixo 153 Pinças 149 Pneus semiautomobilísticos 153 Portas de combinação 139 </p> |
| R | <p> Redução de peso (carroceria) 147 Redução de peso (motor) 131 Reforço 131 Relação da marcha 164 Relação da marcha alta 140 Relação próxima 141, 164 Revisão geral 130 Rigidez 146 Rigidez dos estabilizadores 162 </p> |
| S | <p> Semibidirecional 145 Sistema de escapamento 129 Slicks 152 Soldagem por pontos 146 Spoiler lateral 155 Squish 135 Supercompressor 137 Suspensão de altura ajustável 150 </p> |
| T | <p> Torque inicial 168 Turbina de alto fluxo 136 </p> |
| U | <p> Unidade de controle do motor 128 </p> |
| V | <p> Válvula 133 Velas de ignição 128 Volantes de motor leves 143 </p> |
| Continua na p. 194... | |

Referência de circuitos

4

A Revista do Gran Turismo
Beyond the Apex





4

Daytona Banking 17°, Daytona



3

Eau Rouge, Spa-Francorchamps



1

Reta de largada

2

Copse Corner, Silverstone



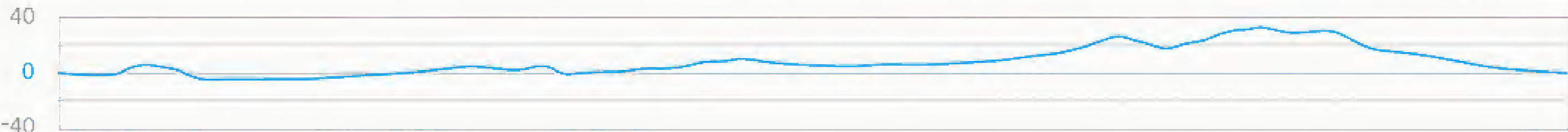
Foi dada atenção especial para preservar a paisagem natural, até mesmo na pista. As zebras têm a cor natural, em vez do padrão vermelho e branco

Extensão total: 5.425 m

Variação de elevação: 38,56 m

Reta mais longa: 470 m

Número de curvas: 26





Pista Completa de Ascari

A pista de corrida mais longa da Espanha com uma variedade de curvas desafiadoras

A pista recebeu seu nome em homenagem ao lendário campeão de F1, Alberto Ascari. É o centro do Ascari Race Resort, uma instalação de grande porte para fãs do automobilismo localizada a 10 minutos do centro de Ronda, uma cidade histórica no sul da Espanha, famosa por suas arenas de touradas. As 26 curvas da

pista estão divididas em 13 à direita e 13 à esquerda, então, o traçado é bem equilibrado e de natureza bem técnica. O design da pista oferece curvas similares ao “Eau Rouge”, de Spa, e ao “Copse”, de Silverstone.

informações Um resort automotivo atendendo às necessidades daqueles que amam carros clássicos

Como o nome “Race Resort” denota, o conceito deste estabelecimento se diferencia de outros circuitos. Para manter a paisagem pura, não há prédios altos, como uma torre de controle. Atualmente, nenhuma corrida de campeonato é realizada aqui, e

somente membros do clube podem entrar nas instalações. Este tipo de exclusividade é convidativo para testes e eventos de mídia realizados pelas montadoras.



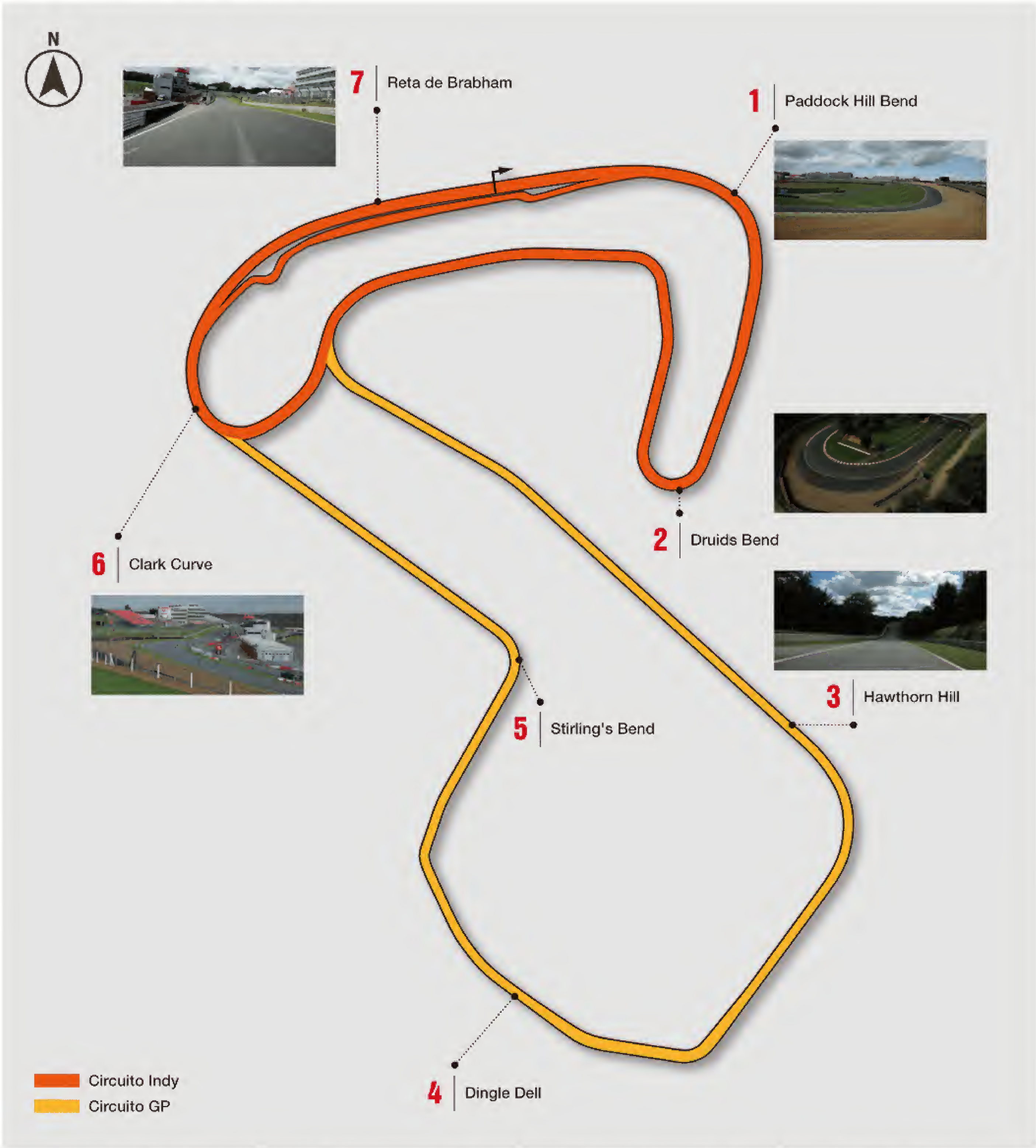
Tradicionais em um resort do sul europeu, as paredes externas dos prédios dentro do estabelecimento são todas brancas. Ao lado do restaurante, fica uma piscina com uma visão completa da pista. Aqui você pode aproveitar um refúgio automotivo que nenhum outro circuito pode oferecer.



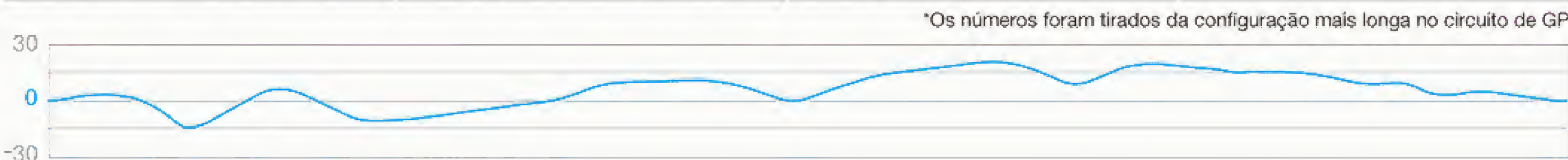
Do aeroporto de Sevilha, cruze Sevilha e dirija-se à A-376, depois à A-375, A-384 e A-367 até chegar a Ronda. A pista fica a 10 minutos de Ronda, com um tempo total de viagem de cerca de 1h30min. Também é possível acessar a pista do aeroporto de Gibraltar.

Lista correspondente

| | | |
|---|------------------------------|--|
| 1 | Reta de largada | A reta que compõe a linha de corrida. Esta reta termina em uma chicane. |
| 2 | Copse Corner, Silverstone | Esta seção recebeu seu nome em homenagem à famosa curva de Silverstone. Embora não seja uma réplica exata, a característica de alta velocidade desta curva é idêntica. |
| 3 | Eau Rouge, Spa-Francorchamps | Uma série rítmica de curvas com subidas e descidas. Esta seção lembra muito a “Eau Rouge” de Spa-Francorchamps. |
| 4 | Daytona Banking 17°, Daytona | Esta seção de alta velocidade inspira-se na curva inclinada de Daytona, caracterizada por uma inclinação de 17 graus. |



| | | | |
|-------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|
| Extensão total: 3.916 m | Variação de elevação: 35 m | Reta mais longa: 475 m | Número de curvas: 9 |
|-------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|



Brands Hatch

Um circuito técnico com história de raízes profundas e várias ondulações.

Localizado em Kent, cerca de 30 km ao sul de Londres, Brands Hatch está cercado pelo verdejante interior inglês. Brands Hatch recebe eventos de corrida desde 1950. É um circuito de alta velocidade desafiador, com curvas de média e alta velocidade

traíçoeiras, várias subidas e descidas e uma largura de pista estreita. São duas as configurações: o circuito de GP, que percorre a floresta intensa, e o circuito Indy, que toma um atalho na curva 4, “Surtees”, até a última curva, chamada de “Clark Curve”.

informações

Para os entusiastas de corrida britânicos, é aqui que mora o coração do automobilismo britânico.

Cada seção de Brands Hatch faz homenagem a pilotos britânicos lendários... uma dedicação adequada, já que esta pista teve papel vital na história do automobilismo britânico. Muitas batalhas

famosas ocorreram nessa pista, e muitos pilotos ainda chamam esse lugar de casa.



A Paddock Hill Bend recebe muitos eventos de empresas durante a semana da corrida, mas quando não há eventos, geralmente está cheia de corredores locais, jovens e velhos, uma prova de que o entusiasmo por carros não tem limite de idade e é verdadeiramente universal.

ACCESS



Inglaterra

Bristol

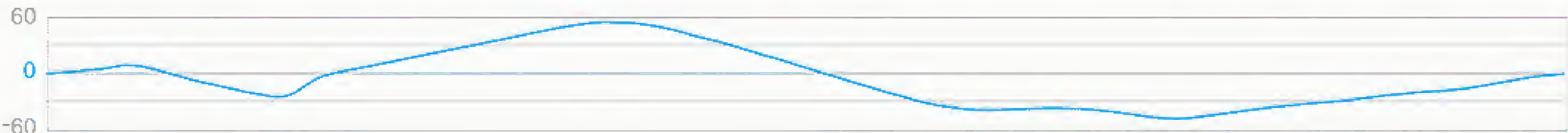
Londres

França

A viagem da Estação Victoria, em Londres, à Estação Swanley leva aproximadamente uma hora. A distância do centro da cidade de Swanley à pista de corrida é de 8 km, podendo-se chegar facilmente de ônibus ou táxi.

Lista correspondente

| | | |
|---|-------------------|---|
| 1 | Paddock Hill Bend | A reta de Brabham sobe e desce a colina até a primeira curva, que requer habilidade e coragem para enfrentar. |
| 2 | Druids Bend | Essa curva fechada vem depois da descida da colina e sobe novamente depois da primeira curva. Era uma curva totalmente cega que ocasionou muitos acidentes. |
| 3 | Hawthorn Hill | Essa descida reta se estende pela floresta e é o melhor ponto de ultrapassagem do circuito. |
| 4 | Dingle Dell | Esta é uma curva de altíssima velocidade. Dominar esta seção é um desafio, pois a saída é cega e atingir o ponto de corte é extremamente difícil. |
| 5 | Stirling's Bend | Esta seção recebeu seu nome em homenagem ao lendário piloto, Stirling Moss. Depois de passar por aqui, a saída para a floresta fica visível. |
| 6 | Clark Curve | Esta última curva é maior à direita. Como a elevação da entrada e da saída varia, a seleção de marchas é essencial para se ter êxito. |
| 7 | Reta de Brabham | A reta frontal. Única, pois se inclina em direção aos boxes. |



Circuito de Spa-Francorchamps

Um circuito técnico de alta velocidade de nível internacional com mudanças de elevação dinâmicas.

Spa-Francorchamps é um circuito técnico de alta velocidade de nível internacional localizado nas Ardenas, Bélgica, próximo da fronteira com a Alemanha. O circuito é famoso por suas retas de alta aceleração e curvas de média e alta velocidade que dissecam o terreno montanhoso com mudanças de elevação de até 104 m. A

famosa Eau Rouge é uma montanha íngreme que define Spa. A diferença dramática na elevação cria condições climáticas instáveis, que resultam no termo “Clima de Spa”. Vencer em Spa geralmente requer tanto sorte quanto habilidade.

informações Aproveite o ambiente ao redor quando visitar a pista.

Uma das atrações de Spa-Francorchamps é a paisagem, um relevo montanhoso pitoresco. Como o nome sugere, existem muitos spas naturais localizados nas cidades próximas, tornando-o um

destino popular para europeus em férias. A 15 minutos de carro da pista, há uma vista maravilhosa dos Altos Fagnes, completamente diferente da vista da floresta das Ardenas.



O pantanal dos Altos Fagnes (em francês, Hautes Fagnes) foi criado por geleiras primordiais. A área é um parque de reserva natural, que abriga o ponto mais alto da Bélgica. Dependendo do clima, você pode ver a Alemanha ou a Holanda daqui.



Spa fica a uma hora e meia de trem da Estação de Bruxelas, ou de ônibus da Estação Central de Verviers. Dar um passeio enquanto aprecia a paisagem belga é recomendado, e como a pista fica perto da fronteira com a Alemanha, o acesso a Frankfurt também é possível.

Lista correspondente

| | | |
|---|------------------|---|
| 1 | La Source | O primeiro obstáculo é esta curva fechada aguda. Tal zona de frenagem repentina imediatamente depois da largada pode resultar em mudanças de posições. |
| 2 | Eau Rouge | As famosas curvas de alta velocidade esquerda-direita-esquerda de Spa, com muitos Gs, em direção a uma subida íngreme. |
| 3 | Kemmel Straight | Esta é a reta mais longa da pista. A velocidade máxima aqui é determinada por sua habilidade na Eau Rouge. |
| 4 | Les Combes | Aqui fica o ponto mais alto deste circuito. Depois de passar deste ponto, você irá se deparar com seções de descida de média e alta velocidade. |
| 5 | Pouhon | Uma curva de alta velocidade seguida por uma seção de descida. É importante determinar os pontos de corte, pois é uma combinação de curvas inclinadas. |
| 6 | Blanchimont | Esta seção de alta velocidade começa na saída das curvas da Paul Frère, que testa a coragem dos pilotos como a Eau Rouge. |
| 7 | Bus Stop Chicane | Essa chicane exige a desaceleração do carro, ainda mais que na La Source. Combates com os freios são comuns, e este é um famoso ponto de ultrapassagem. |



Uma zona de escape depois do portão... não existe. Você precisa de habilidade e coragem para passar por esta seção



| | | | |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|
| Extensão total: 1.867 m | Variação de elevação: 92,7 m | Reta mais longa: 360 m | Número de curvas: 9 |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|



Goodwood Hillclimb

O estágio de prova de tempo mais glamoroso do mundo.

Todos os meses de julho, a Inglaterra recebe um grande festival de corrida chamado Goodwood Festival of Speed. O evento principal é uma subida famosa que ocorre na propriedade do Conde de March. O circuito de 1,16 milhas (aprox. 1,9 km) é composto por barreiras de feno antiquadas e percorre o jardim da

propriedade até uma pastagem espaçosa. Apesar de seu traçado simples, o nível de dificuldade é alto, pois a pista é extremamente estreita. O recorde da pista de 41,6 segundos foi registrado em 1999, por Nick Heidfeld, em uma McLaren MP4-13.

informações Este é um festival de automobilismo para todas as idades.

Muitos acham que este festival destina-se a especialistas, mas, na verdade, qualquer um pode visitar o Goodwood Festival of Speed, basta comprar um ingresso. Muitos trazem suas famílias,

com cestas de piquenique e cadeiras de praia para aproveitar o dia. E, como muitos pilotos passeiam casualmente pela área, encontrar seu piloto favorito é totalmente possível.



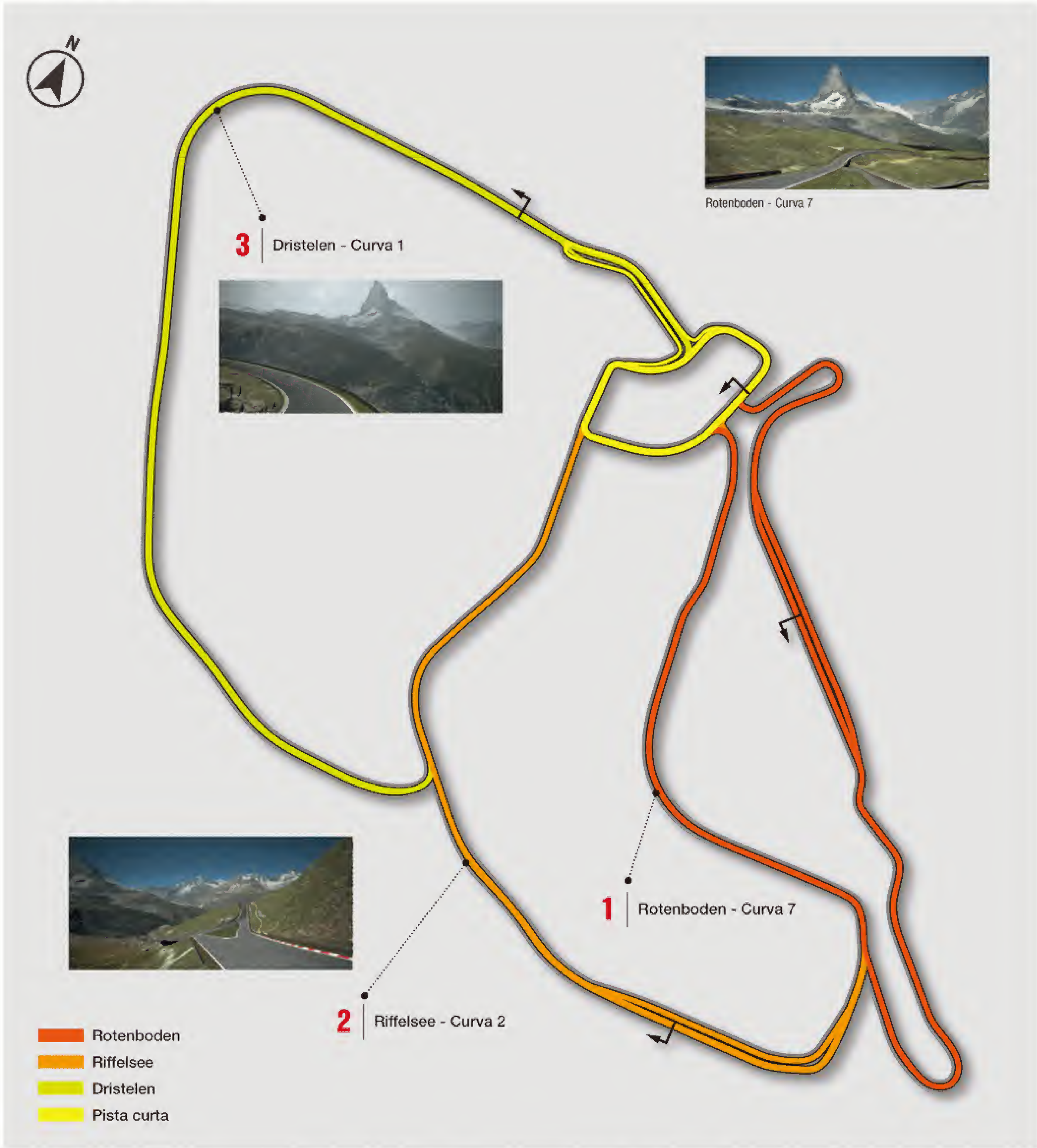
As montadoras exibem seus modelos mais recentes e os carros mais históricos, mas às vezes, há algumas excentricidades, como esta. Parece uma cama, mas, na verdade, é um automóvel registrado, com licença para andar em vias públicas.



O percurso da estação Victoria em Londres à estação Chichester leva aproximadamente 90 minutos com uma baldeação. Durante eventos, ônibus expressos saem da estação em direção à área de Goodwood. A distância entre o ponto onde se desce do expresso até a pista é de apenas alguns minutos a pé.

Lista correspondente

- | | | |
|---|-----------------|--|
| 1 | Park Straight | A Casa de Goodwood pode ser vista desde a linha de largada, sob as árvores, até a reta aberta. |
| 2 | Molecomb Corner | Esta curva à esquerda depois da reta é gradual, mas a pista é estreita e praticamente sem zona de escape. Um teste de coragem. |
| 3 | The Flint Wall | Esta seção envolve curvas à esquerda e à direita como uma chicane, com uma parede de tijolos colocada astuciosamente, tornando essa curva totalmente cega. |



Extensão total: 3.577,8 m Variação de elevação: 236 m Reta mais longa: 415 m Número de curvas: 15

*Os números foram tirados da configuração mais longa do traçado A (a definir)



Matterhorn

Um circuito que desafia a majestosa cadeia de montanhas de 4.000 m.

Os majestosos Alpes suíços e o pico impressionante de 4.478 m de Matterhorn servem como paisagem para este circuito original, localizado próximo da famosa estação de Gornergrat. O circuito é composto de uma longa seção de aceleração total e curvas de alta velocidade, dando uma personalidade muito técnica. As

transições de suas seções de alta velocidade e curvas de média e baixa velocidade são dignas de nota. O circuito em si é amplo, mas como este é um circuito montanhoso, há muitas curvas cegas e subidas íngremes. É muito diferente do circuito de rua tradicional, com muitos desafios únicos.

informações Uma vista majestosa do mundo além dos limites da floresta.

A pista fica na área de Riffelberg e Rotenboden, que fica a mais de 2.500 m acima do nível do mar. Também é um local central para viajantes que aproveitam o ar livre dos Alpes. Esquiar é um estilo de vida nos Alpes, mas, se quiser aproveitar a paisagem da

vegetação da montanha (como a de Edelweiss) ou ter a oportunidade de ver animais selvagens e de apreciar a vista majestosa das elevações, recomendamos viajar nas temporadas apropriadas para caminhadas na primavera e no verão.



A ferrovia de Gornergrat Bahn é percorrida em 30 minutos a partir do seu ponto inicial em Zermatt até Gornergrat, em que a elevação chega a 1.400 m. A vista majestosa ao redor pode ser vista saindo da floresta antes de se chegar a Riffelberg.



O trajeto entre o Aeroporto Internacional de Genebra ou o Aeroporto de Zurique e Zermatt, a estação inicial de Gornergrat Bahn, leva cerca de quatro horas. De lá até Riffelberg, o percurso leva cerca de 20 minutos. Observe que Zermatt restringe a entrada de veículos com motores de combustão interna.

Lista correspondente

1 Rotenboden - Curva 7

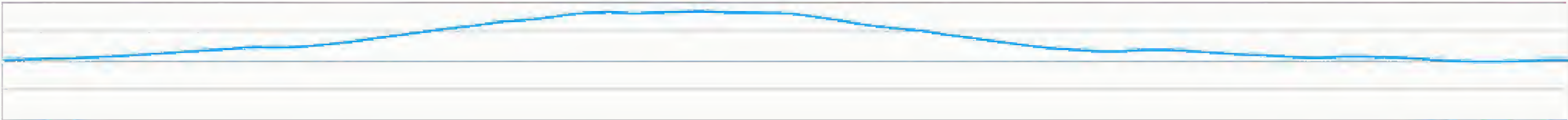
A seção de descida surge da Estação Rotenboden. Há várias curvas fechadas, com uma curva inclinada de alta velocidade para mantê-lo na ponta dos cascos.

2 Riffelsee - Curva 2

O fim da seção de descida encontra-se com uma subida parecida com uma montanha russa em direção a Riffelberg.

3 Dristelen - Curva 1

Esta curva de alta velocidade vai em direção a Matterhorn. O importante aqui é usar a ladeira. Não se deixe distrair pela beleza da paisagem.





Mount Panorama Motor Racing Circuit

Uma pista de corrida famosa na Austrália que usa vias públicas.

Em Bathurst, localizado na Nova Gales do Sul, Austrália, fica a pista do Mount Panorama Motor Racing Circuit, conhecida como "Bathurst 1000" e outros eventos populares. Uma característica única é que ela usa vias públicas, com a pista

situada entre as montanhas. Embora haja longas seções de alta aceleração nas partes inicial e final da pista, as outras seções são subidas e descidas extremas e curvas cegas repetidas. O apelo desse circuito são suas características desafiadoras.

informações **Aproveite a melhor paisagem de Bathurst.**

Como o nome da pista sugere, a vista da paisagem montanhosa faz parte de seu charme. A pista é normalmente usada como via pública e é um ponto preferido para caminhadas/corridas tanto pelos moradores jovens quanto pelos mais velhos. Se você por

acaso passar de carro por aqui, cuidado com a velocidade, pois o limite normal é de 60 km/h, e a polícia está sempre procurando pegar alguém excedendo o limite definido.



A área ao redor do Brock's Skyline é um ponto famoso, onde se pode aproveitar a vista maravilhosa da cidade de Bathurst. Muitos nativos visitam a área durante o dia, mas a vista noturna é particularmente digna de nota. Muitos viajam e se reúnem aqui para aproveitar as paisagens do entardecer.



Localizado há 200 km ao oeste de Sydney, viaje até a Barrier Highway (Route A-32) por cerca de 3 horas para chegar a Bathurst. Se for de avião, use um serviço de voo regular oferecido pela Regional Express em Sydney para acessar o local em cerca de 50 minutos.

Lista correspondente

| | | |
|---|-------------------|---|
| 1 | Hell Corner | Esta curva à esquerda aparece imediatamente depois da largada. A curva fechada é semelhante a uma curva em uma via pública. |
| 2 | Mountain Straight | A longa reta de alta aceleração aparece na parte inicial do circuito. Como seu nome sugere, é uma rede que segue em direção à lateral da montanha. |
| 3 | Brock's Skyline | Uma seção com o nome em homenagem ao lendário piloto Peter Brock. A visão ampla à direita é um destaque. |
| 4 | The Dipper | Esta é a seção mais difícil do circuito. Várias curvas cegas e estradas estreitas lembram Nürburgring. |
| 5 | Forrest's Elbow | O fim de seção montanhosa do circuito apresenta uma curva que recebeu seu nome do piloto de motovelocidade que se acidentou aqui, Jack Forrest. |
| 6 | Conrod Straight | Uma reta longa ondula depois de descer a montanha íngreme. A velocidade máxima pode facilmente superar os 300 km/h. |
| 7 | The Chase | Esta chicane, construída para o Campeonato Mundial de Carros de Turismo de 1987, diminui drasticamente a velocidade dos veículos ao passo que os pilotos seguem em direção à curva final. |

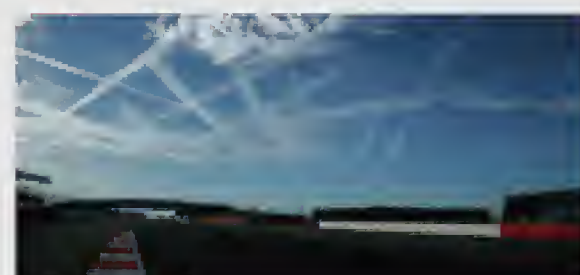


1 International Pits Straight



7 Club

2 Wellington Straight



3 Copse Corner



4 Maggotts ~ Becketts ~ Chapel Curve



5 Hanger Straight



6 Stowe

- National Circuit
- International Circuit
- Circuito GP

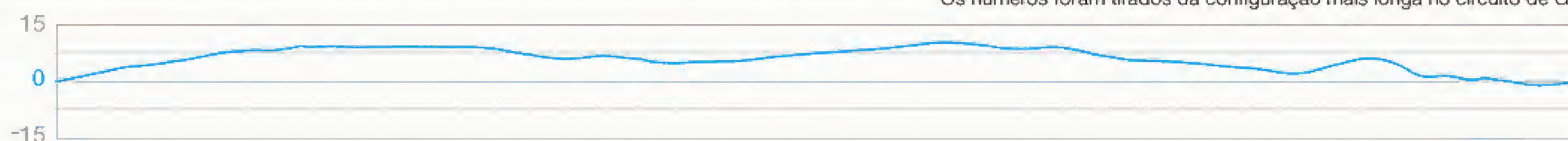
Extensão total: 5.891 m

Variação de elevação: 11,34 m

Reta mais longa: 789 m

Número de curvas: 18

*Os números foram tirados da configuração mais longa no circuito de GP





Circuito de Silverstone

Uma pista de corrida tradicional com mais de 65 anos de história.

O Circuito de Silverstone Circuit foi inaugurado em 1948 no local de um aeroporto da Força Aérea Real. Em 1950, o primeiro Grande Prêmio de F1, o GP britânico, foi realizado aqui. Desde então, a pista de corrida ficou célebre historicamente como o local de nascimento do automobilismo. Embora as melhorias feitas

recentemente tenham tornado a pista mais técnica, sua reputação e característica de uma pista de alta velocidade permaneceram intactas. São usados três traçados diferentes: o National Circuit, que usa a seção norte; o International Circuit, que usa a seção sul e as duas seções combinadas como o Grand Prix Circuit.

informações Silverstone, o original: conectando o virtual com o real.

Desde o início do programa GT Academy, Silverstone serve como o palco para a seleção final, onde o melhor jogador de Gran Turismo recebe a chance de se tornar um piloto de corridas

profissional. Passaram-se seis anos desde a primeira competição em 2008, e Silverstone passou a ser um solo sagrado tanto para pilotos quanto jogadores do Gran Turismo.



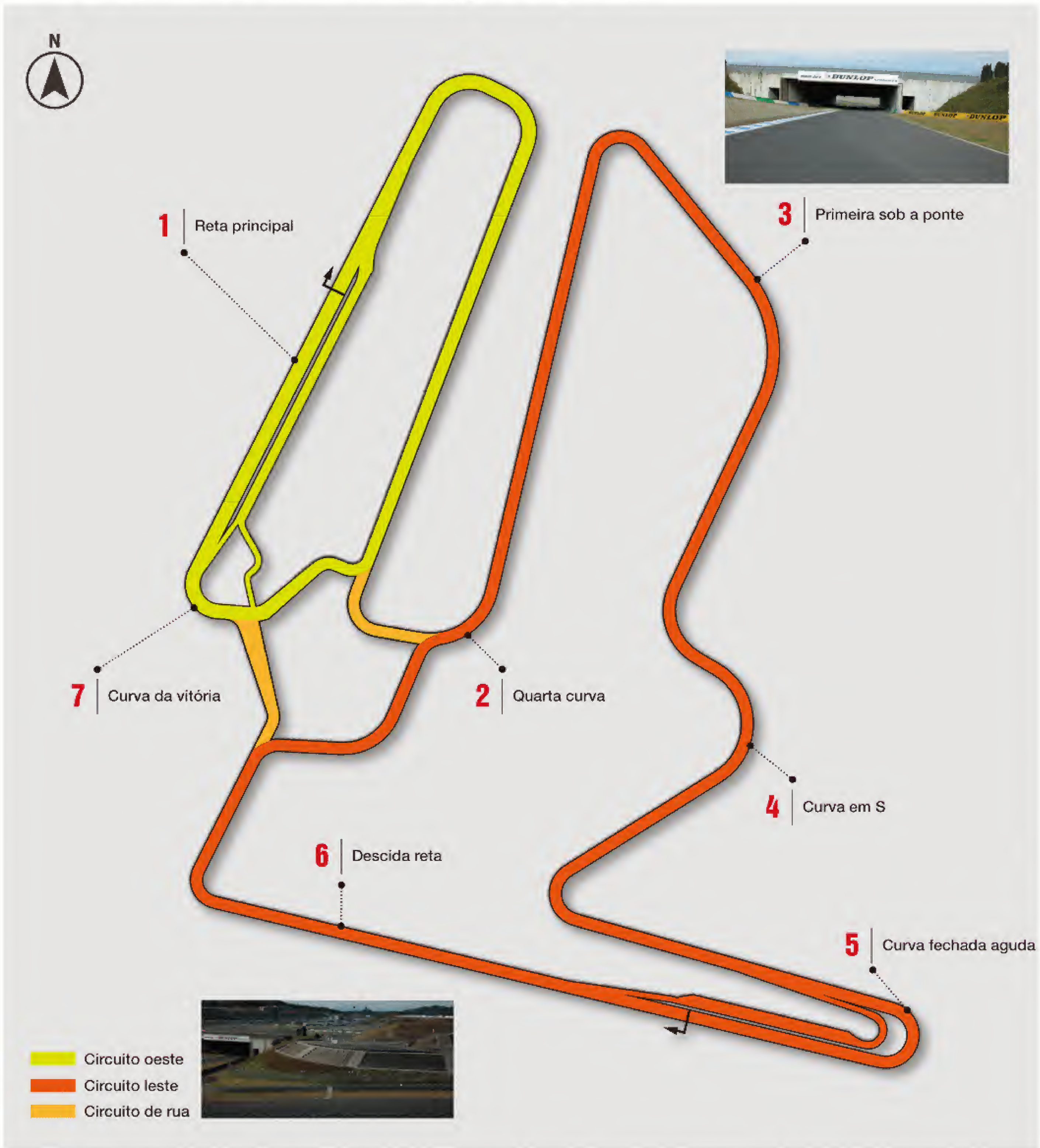
A cena em Silverstone para as finais da GT Academy. Além das técnicas de pilotagem, vários aspectos do potencial dos pilotos são medidos, incluindo sua aptidão física, qualidade de liderança, habilidade comunicativas e, é claro, a habilidade de direção.



Tome o trem da estação de Euston à estação de Northampton, que leva cerca de uma hora. A partir dali, são mais cerca de 30 minutos de táxi. Observe que, durante a semana da corrida, o trânsito ao redor de Silverstone fica congestionado, por isso, recomenda-se dispor de muito tempo para o acesso.

Lista correspondente

| | | |
|---|------------------------------------|---|
| 1 | International Pits Straight | Melhorias recentes foram realizadas e tornaram esta uma reta frontal. O mais novo paddock de hospitalidade, "The Silverstone Wing", está a caminho. |
| 2 | Wellington Straight | Esta nova reta foi outro resultado das melhorias recentemente feitas à pista. No final dela, há uma curva fechada que é um ponto ideal para ultrapassagens. |
| 3 | Copse Corner | Com a mudança na linha de corrida, esta curva de altíssima velocidade agora tem uma velocidade de entrada ainda maior. Os pilotos terão que vencer a curva a toda velocidade. |
| 4 | Maggotts _ Becketts _ Chapel Curve | Diz-se que as curvas em S consecutivas guardam a chave para a vitória em Silverstone. O nível de dificuldade aqui talvez esteja entre os maiores do mundo. |
| 5 | Hanger Straight | A reta mais longa em Silverstone se estende por cerca de 800 m. O circuito também é amplo, permitindo manobras de ultrapassagem agressivas. |
| 6 | Stowe | Semelhante à Copse Corner, é uma longa reta depois da curva, mas frear é necessário. Vencer os pontos de corte exige paciência, o que a torna uma curva difícil de dominar. |
| 7 | Club | Esta curva cega tem uma ladeira inversa suave. Depois das renovações feitas na pista, esta se tornou a reta final. |



Extensão total: 4.801 m

Variação de elevação: 30,4 m

Reta mais longa: 762 m

Número de curvas: 14

*Os números foram tirados da configuração mais longa do circuito de rua





Percurso de estrada de Twin Ring Motegi

O segundo circuito de estrada internacional da Honda.

O percurso de estrada de Twin Ring Motegi é uma pista de corrida de padrão internacional, criada pela Honda em 1997. O circuito de rua de estilo europeu utiliza um traçado de controle de velocidade stop-and-go e tem uma personalidade de pista diferente em comparação com a pista do Suzuka Circuit da

Honda. Usando atalhos, existem três traçados de pista: o circuito leste, o circuito oeste e, o mais longo de todos, o circuito de rua. O destaque do circuito é a reta na descida íngreme que vai em direção à curva com angulação de 90 graus. As técnicas de frenagem exibidas aqui são bravas.

informações Uma mensagem do automobilismo àqueles afetados pelo grande terremoto do leste do Japão.

O grande terremoto do leste do Japão ainda está fresco na memória de todos. De todas as pistas de corrida internacionais principais do Japão, este circuito fica mais perto do local do desastre e foi dramaticamente danificado pelo tremor. No

entanto, a pista foi consertada no mesmo ano. Com o slogan, "Força, Japão!", Motegi voltou à ativa. Eventos de recuperação ocorreram desde então, e o local se tornou um símbolo da determinação japonesa para superar os efeitos do desastre.



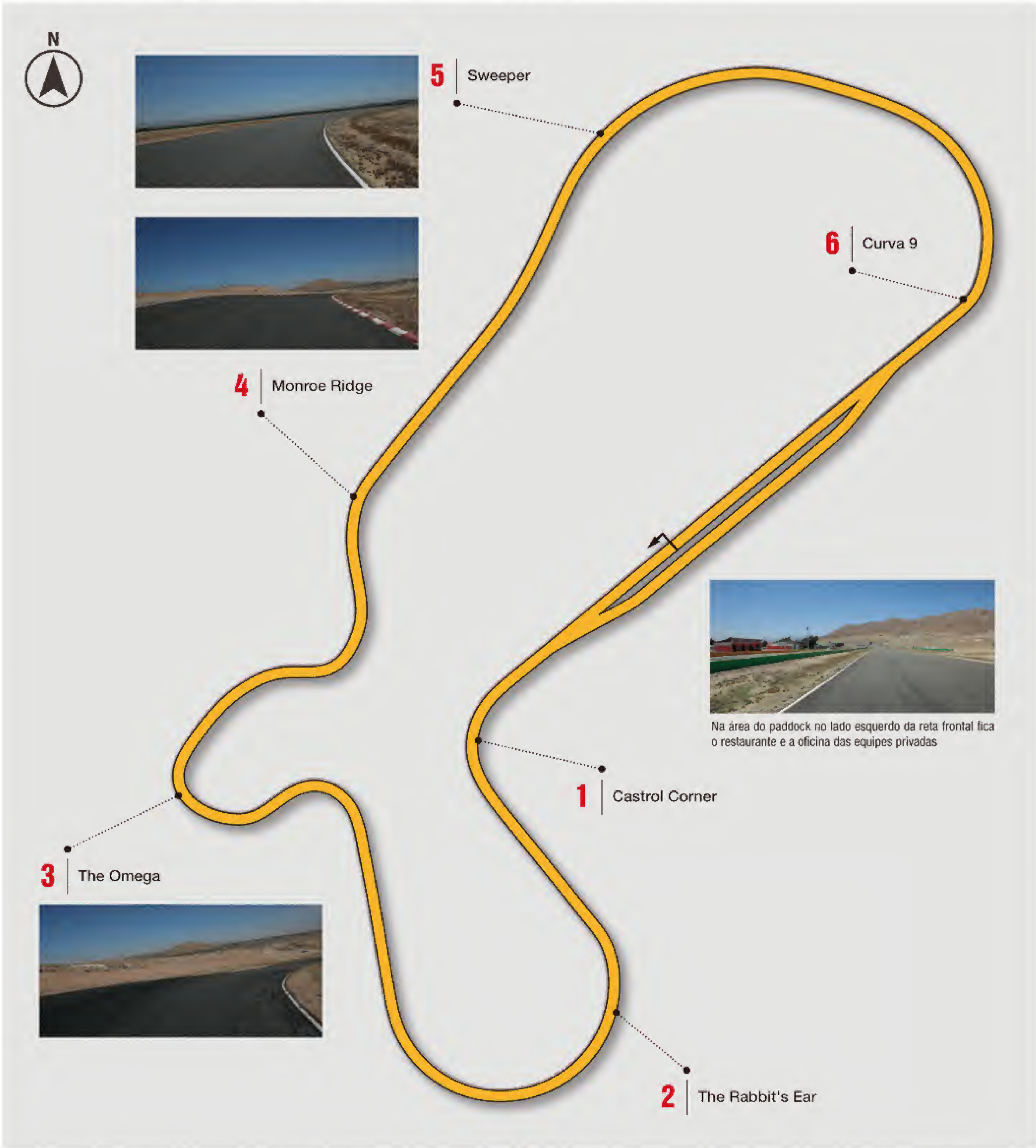
O slogan encontrado na linha de controle do circuito de rua diz **がんばろう!日本**, que significa "Força! Japão!" em referência ao grande terremoto do leste do Japão. Com o circuito localizado próximo da origem do local do desastre, essas palavras deram coragem e esperança a todos os fãs de automobilismo do Japão.



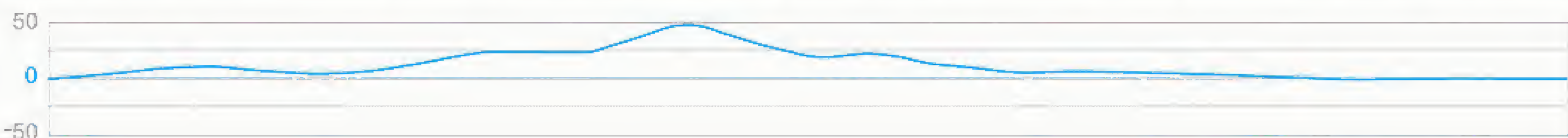
Saindo de Tóquio, o caminho mais conveniente para se chegar a Motegi é tomar o trem-bala até Utsunomiya, uma viagem de cerca de 50 minutos. De lá, serão mais 90 minutos de ônibus. Poderia ser mais rápido de táxi, embora o preço seja bem mais salgado. Além disso, o trânsito fica bem congestionado durante eventos de corrida, por isso reserve bastante tempo para chegar até lá.

Lista correspondente

| | | |
|---|----------------------|--|
| 1 | Reta principal | A reta frontal é uma característica proeminente do circuito. Em direção à parte de trás fica uma seção desafiadora composta por duas curvas consecutivas. |
| 2 | Quarta curva | A combinação de curvas é composta pelas esquinas três e quatro. Mas o R é muito mais estreito. |
| 3 | Primeira sob a ponte | As duas pistas em Motegi se encontram próximo da 5ª curva fechada do circuito de rua. Quando você entra na curva, o Super Autódromo fica diretamente acima. |
| 4 | Curva em S | Esta curva em forma de S tem uma transição forte à esquerda, portanto, em vez de usar toda a velocidade, encontrar a distância mais curta entre a seção é vital. |
| 5 | Curva fechada aguda | Como esta curva fica no topo da subida, frear não é muito difícil. Você precisa passar cuidadosamente pelo ponto de corte para obter boa velocidade na reta que segue. |
| 6 | Descida reta | A reta mais longa do circuito desce enquanto leva a uma curva à direita. É um ponto ideal de ultrapassagem. |
| 7 | Curva da vitória | Esta curva final como chicane é composta por duas curvas consecutivas à esquerda, com uma curva à direita. |



| | | | |
|-------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
| Extensão total: 3.951 m | Variação de elevação: 50 m | Reta mais longa: 756 m | Número de curvas: 10 |
|-------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|





Willow Springs International Raceway/Big Willow

Um circuito de alta velocidade que usa o ambiente ao redor para criar ondulações extremas e curvas de alta velocidade.

Fundado em 1953, a saudosa pista de corrida Willow Springs International Raceway fica no deserto próximo a Los Angeles. Entre os vários circuitos encontrados aqui fica o circuito chamado Big Willow, um circuito de rua de alta velocidade e 2,5 milhas (aprox. 4 km) caracterizado por curva de média e alta velocidade. À primeira vista, o circuito parece fácil, mas, com muitas curvas

inclinadas longas, manter o controle preciso da velocidade mostra-se bem difícil. Adicione grandes alterações de elevação à fórmula e você terá uma pista que talvez seja a mais assustadora de todas no país. Manter o carro sob controle total em alta velocidade é a chave para dominar esta pista.

informações O solo sagrado do automobilismo de base dos EUA.

De propriedade e gerenciada em família, Willow Springs tem uma ambientação idílica e serena. Embora o quadro de funcionários seja pequeno, todos são muito amigáveis e

prestativos. Na área, há várias equipes privadas com oficinas, que têm por hábito conversar com os visitantes. Conversas sobre seu carro de estimação é um assunto popular.



O paddock com ar-condicionado e jantar é uma joia secreta e um ótimo local para evitar o calor escaldante. A comida aqui é típica norte-americana: refeições fartas e deliciosas que não comprometerão o orçamento.



O acesso mais conveniente é de carro. Do Aeroporto Internacional de Los Angeles, siga para o norte na I-405 e tome a I-5, depois a rota estadual para chegar em Rosamond, em cerca de 90 minutos. Mais 5 km e você chegará ao circuito.

Lista correspondente

| | | |
|---|------------------|--|
| 1 | Castrol Corner | A curva para a direita que segue a reta frontal é o aspecto altamente técnico da pista de corrida. |
| 2 | The Rabbit's Ear | Como seu nome sugere, esta seção lembra a forma da orelha de um coelho. A natureza circular longo da curva faz com que a determinação do ponto de corte adequado seja vital. |
| 3 | The Omega | Esta parte que representa o ponto médio da seção técnica e é também a característica principal do circuito. A paisagem que se revela na curva em descida é espetacular. |
| 4 | Monroe Ridge | A vista fica parcialmente obstruída pelas ondulações, mas seguir a linha de corrida adequada por esta curva importante dará velocidade na seção de alta velocidade. |
| 5 | Sweeper | Uma curva de altíssima velocidade que guarda a chave para dominar esta pista traiçoeira. Se você for muito rápido aqui, pode acabar virando uma lenda entre os locais. |
| 6 | Curva 9 | A curva final. À primeira vista parece simples, mas devido à natureza fechada da saída, encontrar e permanecer na linha de corrida adequada aqui é difícil. |



3 | The Bowl



1 | Curva 2

2 | Curva 4

4 | Curva 11



5 | Curva 14

Extensão total: 2.675 m

Variação de elevação: 20 m

Reta mais longa: 395 m

Número de curvas: 14





Willow Springs International Raceway/Streets of Willow

Uma pista técnica com todos os tipos de curvas.

Este é um circuito curto com aproximadamente 1,6 milha (quase 2,6 km) localizado ao norte de Big Willow. Ele geralmente é usado como circuito de teste e recebe diversos eventos de “track day”. Algumas corridas competitivas são realizadas aqui. O traçado é muito técnico e, com a exceção de duas retas curtas, onde você pode acelerar o máximo, a maior parte da pista é composta por curvas de

baixa e média velocidade, uma atrás da outra. Curta em extensão, mesmo assim é desafiadora, composta por uma variedade de diferentes curvas, que vão de curvas inclinadas simples a difíceis combinações de curvas. Com toda a variedade de curvas, é um lugar ideal para aperfeiçoar suas habilidades automobilísticas.

informações Uma tempestade de areia no Deserto de Mojave como aparece em vários filmes de Hollywood.

Em qualquer estação do ano, os fortes ventos e sol escaldante do deserto lembram como a mãe natureza pode ser brutal. Nesta pista de corrida, você pode obter uma amostra da rigorosidade desses elementos. Há tempestades de areia aqui também, e ver grandes nuvens de areia se aproximando ao longe é uma visão realmente

assustadora. O Mojave recebe pouca chuva algumas vezes ao ano, e, nos anos em que há uma quantidade significativa de precipitação, as montanhas que cercam a pista tornam-se um matiz de verde, deixando o cenário muito diferente.



O Willow Spring Raceway fica no meio do Deserto de Mojave, que serviu como cenário para o filme Bagdad Café. Enquanto você viaja até a pista de corrida, a vista da autoestrada faz parecer que você está no meio de um grande cenário de cinema.



Chegar a esta pista é basicamente a mesma coisa que chegar a Big Willow, como afirmado anteriormente. Isto posto, você pode pegar uma rota alternativa, subindo a I-5 até passar pelas montanhas, e tomar estradas laterais na rota estadual 138. Dessa forma, você poderá aproveitar o incrível interior norte-americano em sua viagem.

Lista correspondente

| | | |
|---|----------|---|
| 1 | Curva 2 | Há uma alteração de elevação de pelo menos 10 metros nas primeiras curvas, tornando esse circuito de subidas e descidas bem desafiador. Depois da estrada mostrada aqui, vem uma descida traiçoeira à esquerda. |
| 2 | Curva 4 | Esta parte do circuito se destaca com uma curva fechada aguda em subida. A superfície de condução dura aqui dificulta manter o carro estável. |
| 3 | The Bowl | Chamada de “bowl” (tigela, em inglês), esta famosa curva inclinada tem uma ladeira de 20 graus. |
| 4 | Curva 11 | Para esta curva à esquerda rápida que segue uma reta longa, você deve demonstrar um controle de freios estável depois das curvas em S graduais. |
| 5 | Curva 14 | Esta curva se caracteriza por sua natureza ampla, parecendo e agindo como uma grande área de derrapagem. Para corridas, cones são colocados para fazer com que seja uma curva “normal”. |

A

Aerofólio traseiro 155
Ajuste fino 128
Aumento do orifício 130
Aumento do tamanho da válvula 133

B

Buchas 151

C

Cambagem positiva 160

D

Diferencial de deslizamento limitado (LSD) 144
Difusor traseiro 155

E

Embreagens múltiplas 142
Estrutura 147

F

Fator de bloqueio 145
Fluido de freio 148

L

Ligação de membros 147

M

Mangueiras de freio 149
Mola da válvula 133
Motores rotativos 138

O

Orifícios de ponte 139
Orifícios periféricos 139

P

Polimento das portas 133

R

Relação da última marcha 140
Relação de marcha baixa 140
Relação longa 141

S

Spoiler dianteiro 154
Spoiler do para-choque traseiro 155

U

Unidirecional 145

V

Vedação principal 135



A Revista do Brasil Turístico
Beyond the Apex

Beyond the Apex

Design gráfico

Eichi Abe

Yuichi Miyashita

Ilustração técnica

Tadao Abe

Fotos

HKS Co. Ltd.

GTA Co. Ltd.

Software Cradle Co. Ltd.

Toyota Motor Corporation

Nissan Motor Co. Ltd.

Fuji Heavy Industries Ltd.

Honda Motor Co. Ltd.

Mazda Motor Corporation

BMW AG

Daimler AG

International Sportsworld Communicators Ltd.

Produzido sob a licença da Ferrari Spa. FERRARI, o símbolo do CAVALO RAMPANTE, todas as logomarcas e designs distintivos associados são marcas comerciais da Ferrari Spa. Os designs do chassi dos carros Ferrari são protegidos como propriedade da Ferrari de acordo com a regulamentação de design, marca comercial e aparência comercial.

A marca comercial RED BULL, a marca comercial RED BULL e seu dispositivo e o símbolo dos dois touros são marcas comerciais da Red Bull GmbH/Austria e são usados sob licença. A Red Bull GmbH/Áustria reserva-se todos os direitos, e é proibido o uso não autorizado.



A Revista do Gran Turismo
Beyond the Apex